

放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）  
技術評価結果報告書（中間評価）  
（案）

平成29年2月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

## はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）」は、平成40年代後半を目途とする高レベル放射性廃棄物等の処分やTRU廃棄物等の処分の開始を目指し、処分候補地選定の促進を図るため、処分事業や安全規制に必要な基盤となる地層処分の信頼性や安全性の向上に資する基盤技術を整備することを目的として、平成14年度より実施している。

この複数課題プログラムは、以下の研究開発課題（プロジェクト）から構成される。

- （1）地層処分技術調査（プロジェクト）（平成14年度から）
- （2）管理型処分技術調査（プロジェクト）（平成14年度から）
- （3）放射性廃棄物共通技術調査（プロジェクト）（平成14年度から）

今回の評価は、上記の放射線廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）及びこの構成要素である研究開発課題（プロジェクト）に関する評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる「放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）」評価検討会（座長：小島 圭二 東京大学名誉教授）における検討の結果とりまとめられた「放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）技術評価結果報告書」の原案について、産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（座長：小林 直人 早稲田大学研究戦略センター副所長・研究院副研究院長 教授）において、審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成29年2月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会  
評価ワーキンググループ  
委員名簿

座長	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター副所長・研究院副研究院長 教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所政策・経済研究センター長
	齊藤 栄子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部主任研究員
	高橋 真木子	金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	西尾 好司	株式会社富士通総研経済研究所上席主任研究員
	浜田 恵美子	元・名古屋工業大学大学院教授
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科教授

(敬称略、座長除き五十音順)

放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）評価検討会  
委員名簿

座長 小島 圭二 東京大学 名誉教授 地圏空間研究所

北田 貴義 株式会社三菱総合研究所 主席研究部長

鳥居 和之 金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授

中野 政詩 東京大学 名誉教授

福井 勝則 東京大学 工学系研究科 システム創成学専攻 教授

（敬称略、座長除き五十音順）

事務局：経済産業省資源エネルギー庁 電力・ガス事業部  
放射性廃棄物対策課 放射性廃棄物対策技術室

## 「放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）」に係る省内関係者

### 1. 地層処分技術調査

(平成28年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策技術室長 宮本 岩男 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 竹上 嗣郎

(平成25年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 伊藤 正雄 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 飯村 亜紀子

(平成22年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 苗村 公嗣 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 秦 茂則

(平成18年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 吉野 恭司 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価調査課長 柴尾 浩朗

(平成15年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策室長 山近 英彦 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価調査課長 杉山 茂

### 2. 放射性廃棄物共通技術調査

(平成28年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策技術室長 宮本 岩男 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 竹上 嗣郎

(平成25年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 伊藤 正雄 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 飯村 亜紀子

(平成22年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 苗村 公嗣 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価調査課長 秦 茂則

(平成19年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 渡邊 厚夫 (事業担当室長)  
産業技術環境局 技術評価調査課長 本橋 克広

(平成16年)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策室長 山近 英彦 (事業担当室長)  
産業技術環境局 技術評価調査課長 陣山 繁紀

### 3. 管理型処分技術調査

(平成28年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策技術室長 宮本 岩男 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 竹上 嗣郎

(平成25年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 伊藤 正雄 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 飯村 亜紀子

(平成22年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 苗村 公嗣 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価調査課長 秦 茂則

(平成20年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 渡邊 厚夫 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 長濱 裕二

(平成17年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 吉野 恭司 (事業担当課長)  
産業技術環境局 技術評価室長 柴尾 浩朗

## 放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）の評価審議経過

### 【中間評価】

- ◆産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ  
（平成29年2月24日）
  - ・技術評価結果報告書（中間評価）について
  
- ◆「放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）」評価検討会  
第1回評価検討会（平成28年11月1日）
  - ・評価検討会の公開について
  - ・評価の方法等について
  - ・今後の評価の進め方について（コメント依頼）
  - ・複数課題プログラムの概要について
  
- ◆「放射性廃棄物処分関連分野（複数課題プログラム）」評価検討会  
第2回評価検討会（平成28年12月14日～12月20日：書面審議）
  - ・技術評価結果報告書（中間評価）について

# 目次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ委員名簿

放射性廃棄物処分関連分野(複数課題プログラム)評価検討会委員名簿

「放射性廃棄物処分関連分野(複数課題プログラム)」に係る省内関係者

放射性廃棄物処分関連分野(複数課題プログラム)の評価審議経過

第1章 複数課題プログラムの概要及び評価	- 1 -
1-1 複数課題プログラムの概要	- 1 -
1-1-1 事業アウトカム	- 1 -
1-1-2 複数課題プログラムの内容および事業アウトプット	- 1 -
(1) 地層処分技術調査	- 2 -
(2) 放射性廃棄物共通技術調査	- 3 -
(3) 管理型処分技術調査	- 3 -
1-1-3 当省(国)が実施することの必要性	- 3 -
1-1-4 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	- 4 -
1-1-5 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等	- 6 -
1-1-6 費用対効果	- 7 -
1-2 外部有識者(評価検討会)のプログラム全体評価	- 9 -
1-2-1 事業アウトカムの妥当性	- 9 -
1-2-2 事業アウトプットの妥当性	- 10 -
1-2-3 当省(国)が実施することの必要性	- 12 -
1-2-4 各技術要素のアウトカムに至るまでのロードマップの妥当性	- 13 -
1-2-5 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	- 14 -
1-2-6 費用対効果	- 16 -
1-2-7 総合評価	- 17 -
第2章 研究開発課題の概要及び評価	- 19 -
2-1 地層処分技術調査	- 19 -
2-1-1 研究開発課題(プロジェクト)概要	- 19 -
(1) 事業アウトカム	- 19 -
(2) 研究開発内容及び事業アウトプット	- 24 -
(3) 当局が実施することの必要性	- 38 -
(4) 各技術要素のアウトカムに至るまでのロードマップ	- 39 -
(5) 研究開発の実施・マネジメント体制等	- 40 -
(6) 費用対効果	- 41 -
2-1-2 外部有識者(評価検討会)の評価	



(1) 総合評価	
(2) 評点法による評点結果	
<b>2-2 放射性廃棄物共通技術調査</b>	- 46 -
<b>2-2-1 研究開発課題(プロジェクト)概要</b>	- 46 -
(1) 事業アウトカム	- 46 -
(2) 研究開発内容及び事業アウトプット	- 46 -
(3) 当省が実施することの必要性	- 48 -
(4) 各技術要素のアウトカムに至るまでのロードマップ	- 48 -
(5) 研究開発の実施・マネジメント体制等	- 48 -
(6) 費用対効果	- 49 -
<b>2-2-2 外部有識者(評価検討会)の評価</b>	
(1) 総合評価	
(2) 評点法による評点結果	
<b>2-3 管理型処分技術調査</b>	- 53 -
<b>2-3-1 研究開発課題(プロジェクト)概要</b>	- 53 -
(1) 事業アウトカム	- 53 -
(2) 研究開発内容及び事業アウトプット	- 54 -
(3) 当局が実施することの必要性	- 56 -
(4) 各技術要素のアウトカムに至るまでのロードマップ	- 57 -
(5) 研究開発の実施・マネジメント体制等	- 57 -
(6) 費用対効果	- 58 -
<b>2-3-2 外部有識者(評価検討会)の評価</b>	
(1) 総合評価	
(2) 評点法による評点結果	
<b>第3章 今後の複数課題プログラムと研究開発課題に関する提言(評価検討会)</b>	- 61 -
<b>3-1 複数課題プログラム</b>	- 61 -
<b>3-2 研究開発課題</b>	- 63 -
<b>3-2-1 地層処分技術調査(プロジェクト)(中間)</b>	- 63 -
(1) 今後の研究開発の方向等に関する提言	- 63 -
<b>3-2-2. 放射性廃棄物共通技術調査(プロジェクト)(中間)</b>	- 67 -
(1) 今後の研究開発の方向等に関する提言	- 67 -
<b>3-2-3. 管理型処分技術調査(プロジェクト)(中間)</b>	- 68 -
(1) 今後の研究開発の方向等に関する提言	- 68 -
<b>第4章 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等</b>	- 70 -

# 第1章 複数課題プログラムの概要及び評価

## 1-1 複数課題プログラムの概要

複数課題プログラム名	放射性廃棄物処分関連分野複数課題プログラム
上位施策名	科学技術イノベーション
担当課	資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策課

予算額等(委託)

(単位:億円)

開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成14年度	未定	平成28年度	未定	民間団体、国立研究開発法人等
H25FY 執行額	H26FY 執行額	H27FY 執行額	総執行額	総予算額
36.6	38.8	37.9	113.3	123.2

### 1-1-1 事業アウトカム

本プログラムの最終目的は放射性廃棄物に対して安全性・信頼性を確保しつつ効率的な処分を実施することである。そのため、本報告書1-1-4に示す各開発課題(プロジェクト)で設定したアウトカムをプログラムとしてまとめることにある。

### 1-1-2 複数課題プログラムの内容および事業アウトプット

平成40年代後半を目途とする高レベル放射性廃棄物等の処分やTRU廃棄物等の処分の開始を目指し、処分候補地選定の促進を図るため、処分事業や安全規制に必要な基盤となる処分の信頼性や安全性の向上に資する基盤技術を整備する。

**多重バリアシステム**  
人工バリア: ガラス固化体、オーバーバック、緩衝材  
天然バリア: 岩盤  
高レベル放射性廃棄物の処分施設と多重バリアシステムのイメージ

**⑫地下空洞型処分施設機能確認試験**  
地下空洞型処分施設での試験実施イメージ  
地下空洞内に構築した実規模試験施設

(例) **①岩盤中地下水移行評価検証技術開発**  
深地層の研究施設における物質移行試験作業

**⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発**  
廃棄体を回収するための緩衝材除去装置

**⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発**  
金属廃棄物の有効利用までの流れ  
原子力発電所 → 廃炉に伴い廃棄物が発生 → 有効利用 → クリアランスレベルの金属廃棄物  
外遮へい容器、内遮へい容器、余裕深度処分で使用する廃棄物容器のイメージ

複数プログラムの内容イメージ

## (1)研究開発課題:地層処分技術調査

### ■要素技術①:岩盤中地下水移行評価確証技術開発

少数のボーリングで地質環境特性を精度良く調査することができるコントロールボーリング技術の開発を行う。また、深地層の研究施設の坑道を活用し、地下水年代測定及び岩盤中の地下水や物質の移動等を調査・評価する技術を構築する。

### ■要素技術②:地質環境長期安定性評価確証技術開発

天然現象(例えば隆起・沈降など)により地質環境に生じる長期的な変化を三次元的にモデル化・解析評価する技術や、岩石の年代を精度良く評価する技術等の開発を進める。

### ■要素技術③:処分システム評価確証技術開発

安全評価の信頼性を向上させるため、地下研究施設等を利用した試験を通じて人工バリア及びその周辺岩盤(ニアフィールド)で生じる複雑な現象を考慮できる評価モデルの確証等を行う。

### ■要素技術④:処分システム工学確証技術開発

深地層の研究施設を活用し、人工バリアの品質評価技術及び処分システムの状況をモニタリングする技術等、処分システム設計・操業に関する工学技術の開発を行う。

### ■要素技術⑤:海域地質環境調査確証技術開発

海上ボーリング調査によって得られた海底下深部の地質構造や地下水等の状況に基づき、沿岸域海底下の地質環境の総合的な調査・評価手法を構築する。

### ■要素技術⑥:沿岸部処分システム高度化開発

地層処分技術の信頼性及び安全性の向上の観点での技術基盤整備を目的に、沿岸部での地質環境の調査技術・人工バリア等に関する工学技術・地下水の時間変化等に係る安全評価技術の整備・体系化に向けた文献調査を行う。

### ■要素技術⑦:TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発

TRU廃棄物処分における新しい固化技術や固化体からの放射性ヨウ素や炭素の長期溶出挙動評価のための技術の開発、人工バリア材の長期挙動、ガス移行挙動の評価に関する研究開発等を行う。

### ■要素技術⑧:セメント材料影響評価技術高度化開発

TRU廃棄物の地層処分で用いられる可能性のあるセメント材料を想定し、セメント材料が人工バリア性能に及ぼす影響の評価技術、核種移行解析技術の開発を行う。

### ■要素技術⑨:可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

高レベル放射性廃棄物処分の可逆性・回収可能性について、これまで開発してきた搬送定置や緩衝材除去技術を地上・地下環境で実証し、地下での適用性を確認する。

#### ■要素技術⑩：直接処分等代替処分技術開発

将来的な政策の柔軟性を確保する観点から、使用済核燃料の直接処分の実現可能性についての検討及びそれを実現するために必要な技術開発を行うとともに、超深孔処分等の代替処分オプションの実現可能性についての検討を行う。

#### (2)研究開発課題:放射性廃棄物共通技術調査

##### ■要素技術⑪：放射性核種生物圏移行評価高度化開発

日本固有の特徴を考慮し、農作物や土壌等に対する放射性核種の移行係数などを取得・データベース化し、安全評価における放射性物質の生物圏移行評価手法の高度化を行う。

#### (3)研究開発課題:管理型処分技術調査

##### ■要素技術⑫：地下空洞型処分施設機能確認試験

日本原燃が六ヶ所村に所有する実規模大の地下空洞を利用し、発電所廃棄物の余裕深度処分施設閉鎖後の長期的管理に資する、人工バリアや周辺岩盤の長期に亘る機能確認方法を確立する。

##### ■要素技術⑬：原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発

原子力発電所などの解体で生じるクリアランスレベル以下の金属廃棄物を余裕深度処分を想定した放射線遮蔽能力・耐久性を有する金属容器に利用するプロセスの技術開発とその実用化に向けた経済的合理性に関する検討を実施する。

### 1-1-3 当省(国)が実施することの必要性

原子力発電に伴って必然的に生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。さらには、地層処分や余裕深度処分において特段に求められる安全確保の長期性と処分事業の長期性を踏まえれば、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための基盤を整備していくことが重要。

#### 【参考：国の政策での位置づけ】

##### (1) エネルギー基本計画（平成26年4月11日閣議決定）

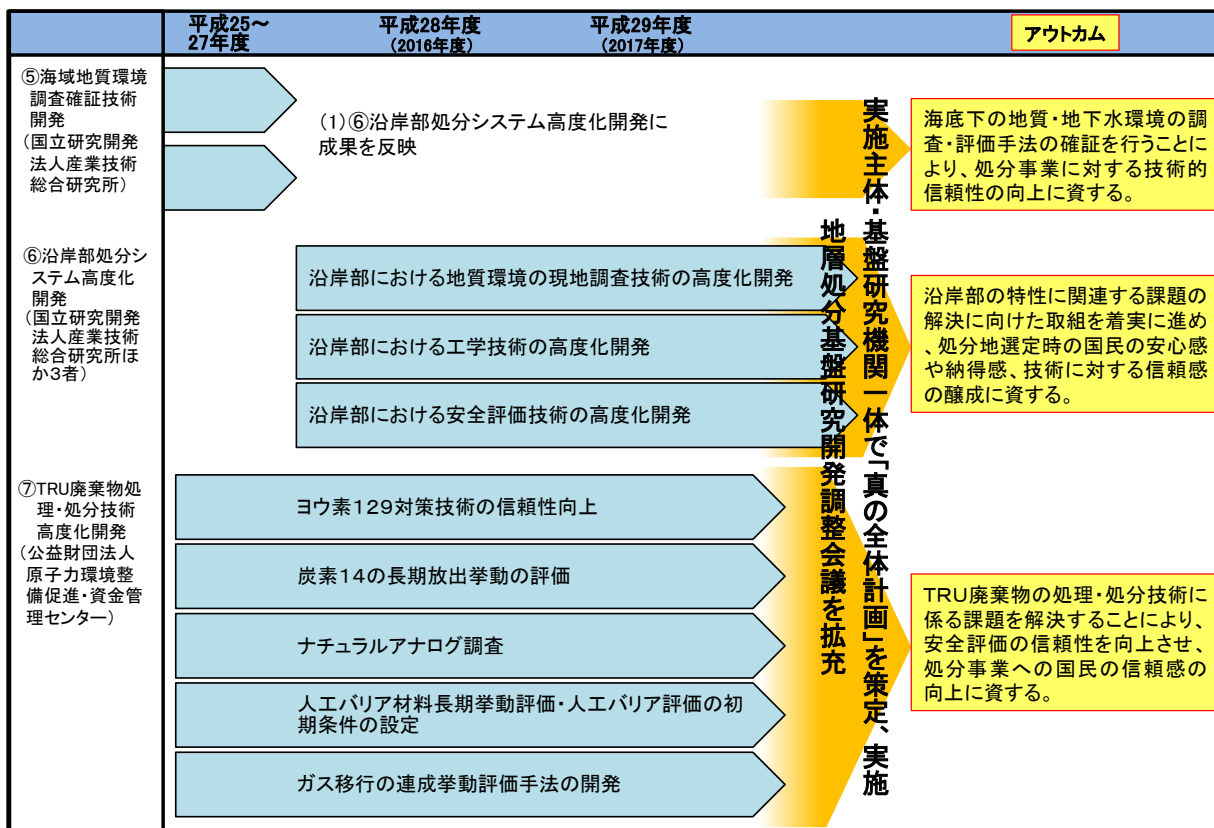
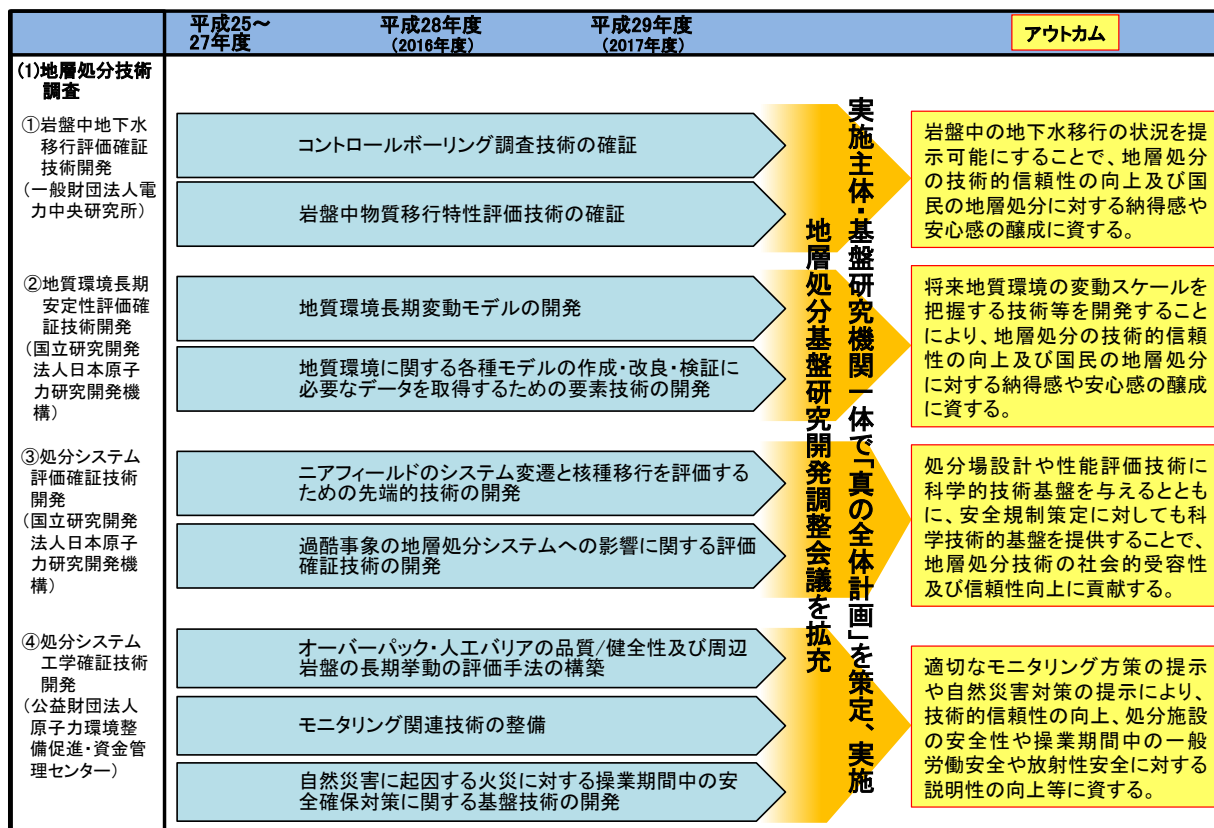
- ・地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。あわせて、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。
- ・廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、(中略)処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進する。

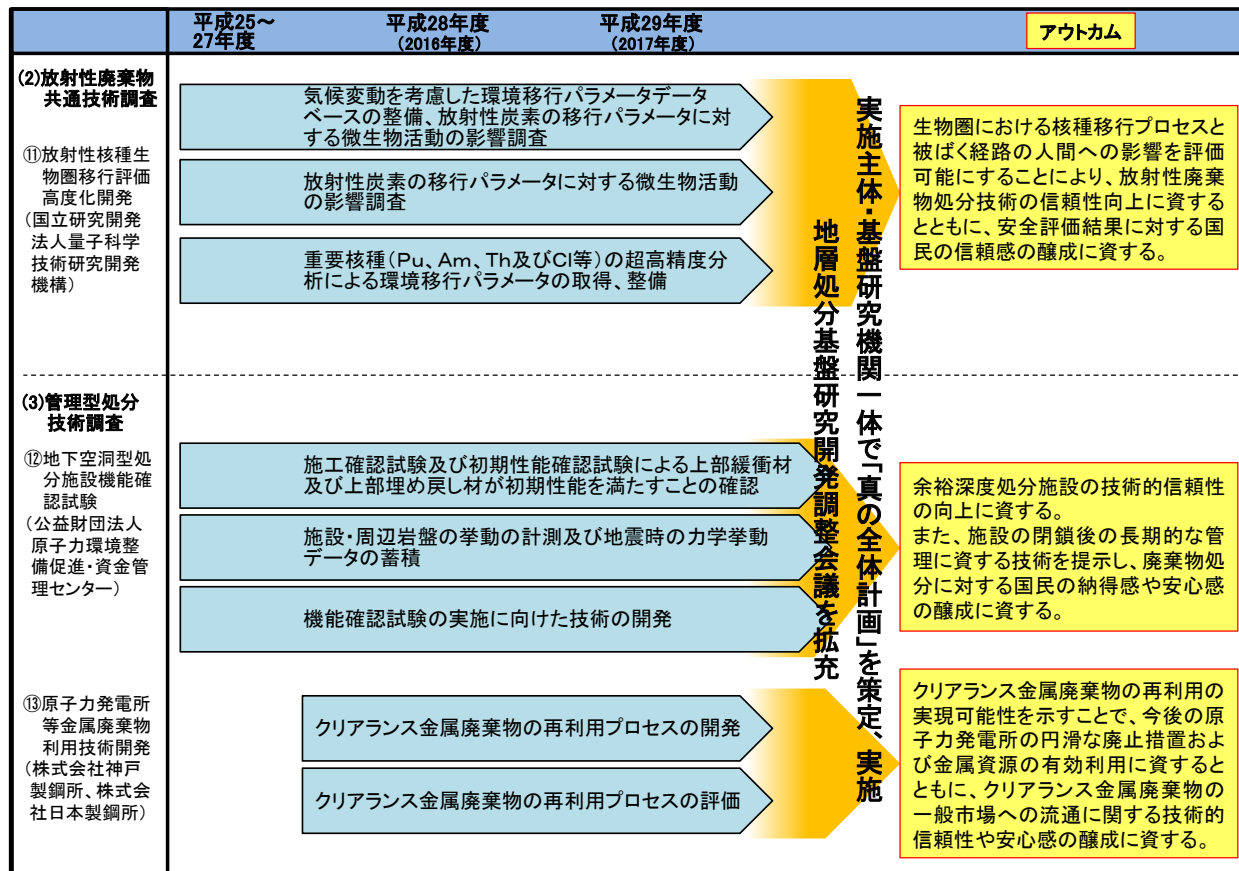
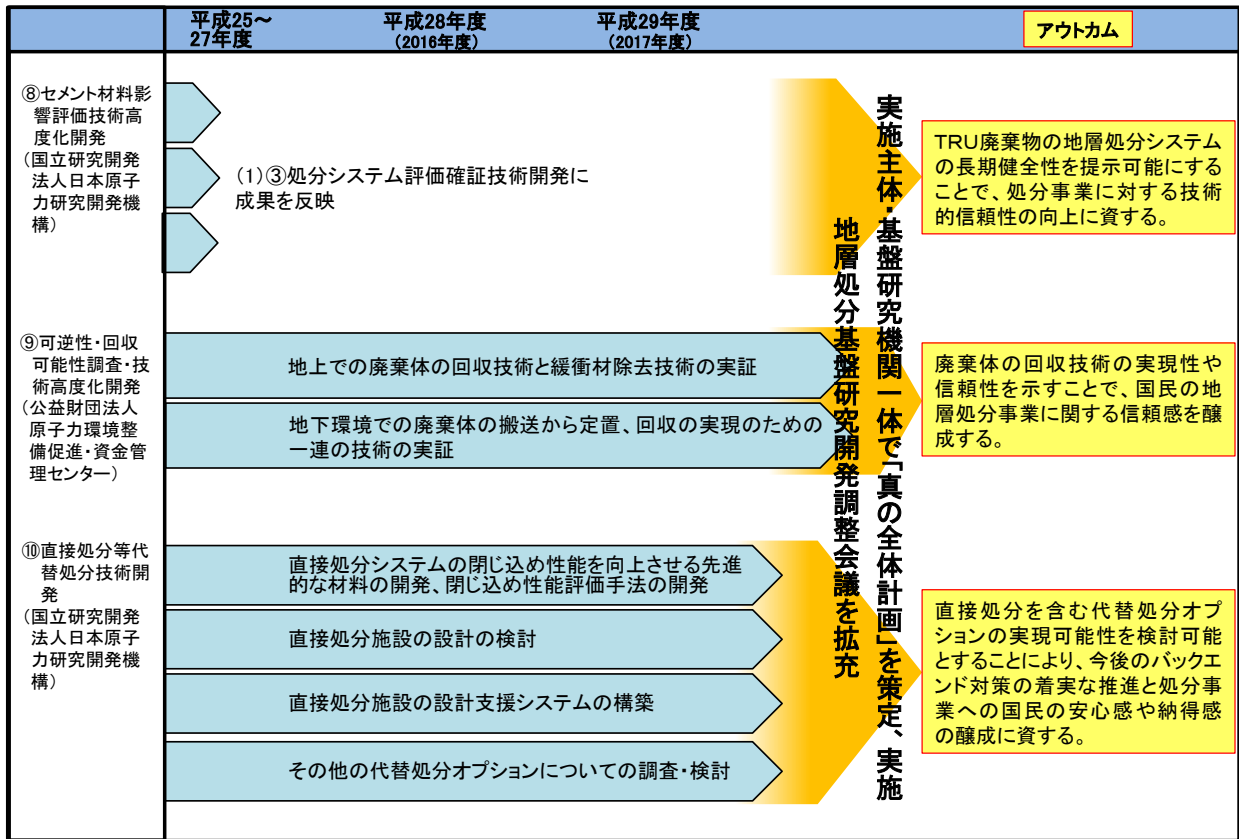
##### (2) 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月22日閣議決定）

- ・国、原子力発電環境整備機構及び関係研究機関は、連携及び協力を行いつつ、最終処分の技術的信頼性等の定期的な評価を行うことを通じ、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に当該技

術開発等を進めるものとする。

### 1-1-4 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ





## 「地層処分基盤研究開発調整会議」について

地層処分に係る研究開発については、原子力政策大綱（平成17年10月閣議決定）で「国及び研究開発機関等は、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に進められるよう連携・協力すべきである」とされたこと等を受け、同年、資源エネルギー庁主催の下、JAEA及び関連研究機関が参画する「地層処分基盤研究開発調整会議」（以下、調整会議）を設置し、PDCAサイクルを回しながら関連研究機関が実施する基盤研究の全体計画を策定している。平成25年には「地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成25年度～平成29年度）」を策定・公表し、現在、当該計画に基づいた研究開発を実施中である。

構成機関は、メンバーとして資源エネルギー庁、原子力発電環境整備機構（NUMO）、日本原子力研究開発機構（JAEA）、関連研究機関（原子力環境整備促進・資金管理センター、電力中央研究所、産業技術総合研究所、量子科学技術研究開発機構）、オブザーバーとして電気事業者、日本原燃である。会議の目的・内容は、1）研究開発全体計画の策定、2）研究開発の連携に関する調整、3）成果の体系化に向けた調整、4）研究開発の重複排除の調整である。

（[http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/docs/library/rprt3/rprt06.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/docs/library/rprt3/rprt06.pdf) で公開されている資料を第1回検討会において参考配付）

また、「最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価書（原子力委員会放射性廃棄物専門部会）」においては、以下の評価結果を得ている。

- ・ JAEA及びその他関連研究開発機関は、調整会議において、NUMOが適切に示したニーズを把握しこれを反映した全体計画を策定している。また、これに基づき成果を出し合ってPDCAサイクルを回し、次期全体計画の改訂に反映するという作業を共に行っている。これにより、研究開発主体間での連携が適切に図られているものと考えられる。
- ・ 地層処分基盤研究開発に関する全体計画は、NUMOの実施する技術開発計画と一体化し、いわゆる「真の全体計画」となることが望まれる。

（[http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/hosya\\_haiki/houkoku.pdf](http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/hosya_haiki/houkoku.pdf) で公開されている資料を第1回検討会において参考配付）

これを受け、今後は地層処分基盤研究開発調整会議を拡充し、実施主体・基盤研究機関一体で「真の全体計画」を策定、実施していく予定である。

### 1-1-5 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等

各事業を構成する要素技術（①～⑬、ただし⑥を除く）について、大学教授等の専門家等（5～9名）により構成される外部委員会を設置。各要素技術の期間が5年の場合は、以下のレビューを実施する。

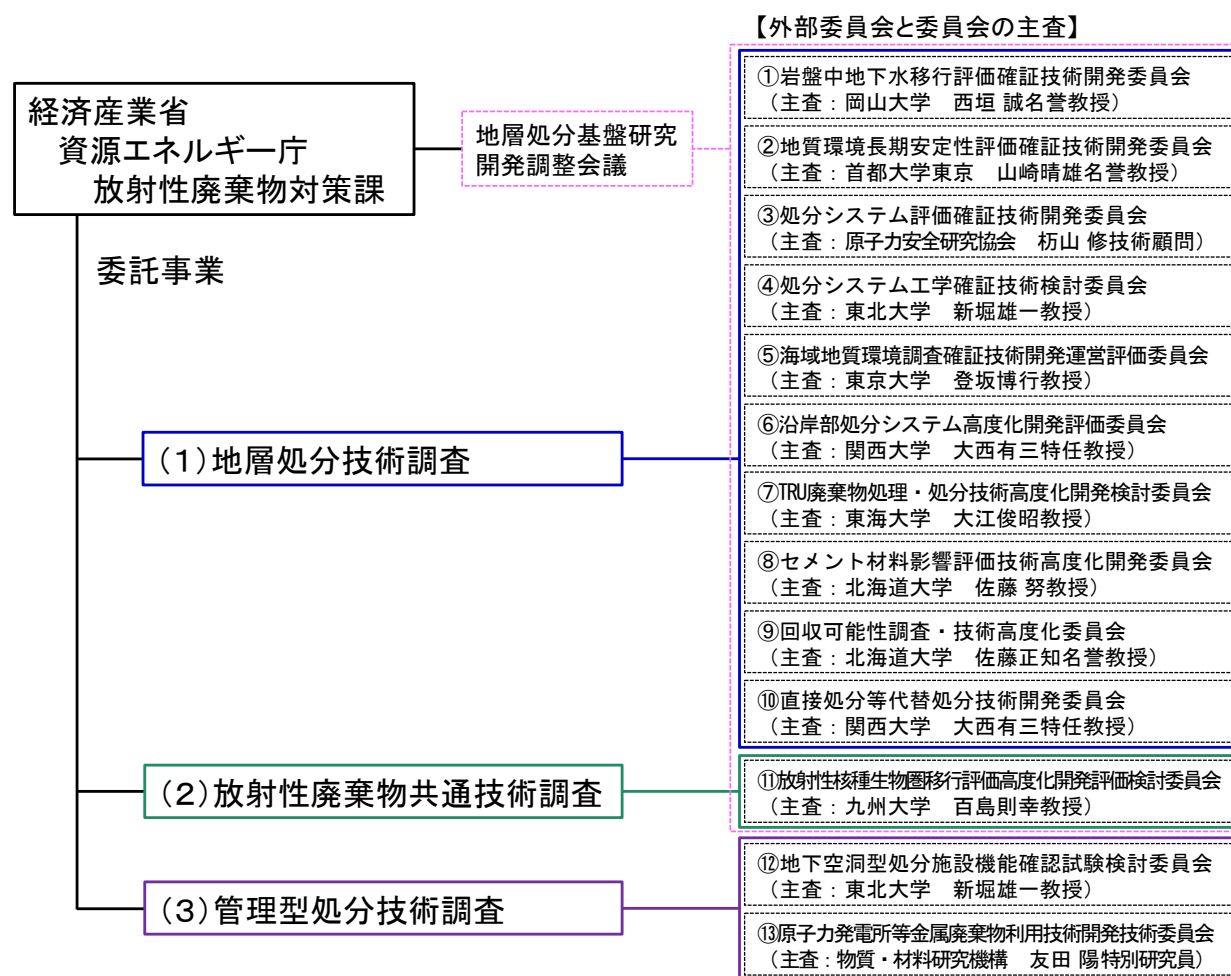
- 初年度：研究開発計画についてのレビュー
- 3年目：事業の中間評価としてのレビュー
- 最終年度：研究開発成果のレビュー

この他、同委員会を毎年度3回程度開催し、以下を実施。

- 研究開発計画や実施内容についてのレビュー・助言

●成果のレビュー、課題の指摘 等

同委員会からの指摘事項を研究開発計画や実施内容などに反映し、マネジメント体制を確保している。



マネジメント体制図

1-1-6 費用対効果

本プログラムでは、(1) 地層処分技術調査で97.9億円、(2) 放射性廃棄物共通技術調査で2.6億円、(3) 管理型処分技術調査で6.6億円の国費を投資した。予算執行額と外部発表数は以下のとおり。

予算執行額（委託）

（単位：億円）

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	総額
地層処分技術調査	31.1	33.7	33.2	97.9
放射性廃棄物 共通技術調査*	2.9 (0.6)	3.0 (1.0)	2.9 (1.0)	8.8 (2.6)
管理型処分技術調査	2.6	2.1	1.9	6.6
*()は評価対象額				113.3



外部発表件数

	予算額(億円) (平成25年度 ~27年度)	論文	学会発表	特許等 (出願含む)	講演・ 著書等
(1)地層処分技術調査	97.9	53	224	10	12
①岩盤中地下水移行評価確証技術開発	13.1	7	41	9	1
②地質環境長期安定性評価確証技術開発	6.6	1	17	0	0
③処分システム評価確証技術開発	14.2	8	42	0	0
④処分システム工学確証技術開発	16.0	1	26	0	5
⑤海域地質環境調査確証技術開発	13.0	13	25	1	4
⑥沿岸部処分システム高度化開発	0.3	1	5	0	1
⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発	13.9	16	49	0	0
⑧セメント材料影響評価技術高度化開発	2.1	2	3	0	0
⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 (地層処分回収技術高度化開発を含む)	10.6	0	4	0	0
⑩直接処分等代替処分技術開発 (使用済燃料直接処分技術開発を含む)	8.4	4	12	0	1
(2)放射性廃棄物共通技術調査	2.6	59	103	0	16
①放射性核種生物圏移行評価高度化開発	2.6	59	103	0	16
(3)管理型処分技術調査	6.6	3	20	0	7
⑫地下空洞型処分施設機能確認試験 (地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験を含む)	5.6	3	20	0	7
⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発	1.0	0	0	0	0

なお、知的財産権の取扱いに関しては、産業活力再生特別措置法第30条に定められた日本版バイ・ドール条項を適用している。また、技術の共有化として、資源エネルギー庁ホームページにおいて、以下のURLで委託事業の成果報告書を公開している。

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/library/library06.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/library06.html)

## 1-2 外部有識者（評価検討会）のプログラム全体評価

### 1-2-1 事業アウトカムの妥当性

放射性廃棄物処分関連分野は国策として遂行すべきプロジェクトであり、非常に重要な課題である。原子力発電による放射性廃棄物の処分において、信頼性や安定性の向上をアウトカムとしていることは極めて妥当である。放射性廃棄物の地層処分や余裕深度処分の技術開発は、新技術や新知見を創出するための課題が適切に設定されており、外部委員会による評価とその達成度に基づき、実施体制と事業の見直しができる体制が整っている。アウトカムについては現時点で明確に示すことが難しいものであるが、事業は順調にかつ継続的に実施されている。さらに、本プロジェクトは国際的にも優れたものであると判断でき、今後、アジア諸国で建設が進む原子力発電所からの放射性廃棄物処分の課題解決や原子力発電の技術移転にも役立つものである。

一方、内容が多岐にわたるため、事業アウトカムを定量的に提示することが難しく、設定が曖昧となっていることから、国民視点からは妥当性をやや欠いているようにも思える。複数課題プログラムとしての全体的なアウトカム指標が明確に示されていないために、それが実現した際の日本経済や国際競争力の議論ができないことが残念な点である。より定量的となるアウトカム指標の設定を継続的に見直すとともに、国民に本プロジェクトの全体像や必要性、実施状況を十分に示しながら丁寧に説明していくことが必要である。

#### 【肯定的所見】

- ・地層処分基盤研究開発に関する全体計画の中では、平成40年代後半の処分開始を見据えた、超長期的な事業プロセスの初期段階を終了する時点であることが理解でき、アウトカムについては、現時点で明確に示すことが、本来難しいものである。アウトカムの考えとして、この事業を実施しない場合の国民のこうむる不利益についてもとらえ、本事業の実施意義を明確にすることが必要である。（B委員）
- ・放射性廃棄物処分関連分野は、原子力発電による放射性廃棄物の処分において、信頼性や安定性の向上をアウトカムとしていて、非常に重要な課題であり、事業の妥当性は極めてある。（E委員）
- ・放射性廃棄物の地層処分や余裕深度処分の技術開発は、国策として遂行すべきプロジェクトである。短期（5年）及び中期（20年）をそれぞれ見据えて、新技術や新知見を創出するための課題が適切に設定されている。事業は順調にかつ継続的に実施されている。（C委員）
- ・基盤研究開発では、外部委員会の評価とその達成度に基づき、実施体制と事業の見直しができる体制が整っている。（C委員）
- ・沿岸域を処分地点に選ぶことができるようになった。（D委員）
- ・堆積岩体を使う処分技術の完成は海外への発信、輸出、共同研究を可能とする。（D委員）
- ・本研究開発は、国際的にも優れたものであると判断できる。今後、アジア諸国で建設が進む原子力発電所からの放射性廃棄物処分の課題解決や原子力発電の技術移転にも役立っている。（C委員）
- ・アウトカムの定義にもよるが、詳細な記述を見ると、アウトカムの具体的な内容も記述されているので、概要をもう少し丁寧に記述することで、アウトカムが見えてくると期待する。（A委員）

#### 【問題あり・要改善とする所見】

- ・放射性廃棄物処分の研究開発の必要性や重要性は国民に十分に認識されているとは言えない。さらに、地層処分や余裕深度処分の実施体制そのものがこの数年で大きく変わってきている。(C委員)
- ・プロジェクトにおけるアウトカム設定が曖昧で、プロジェクトに同じ用語が羅列されている。すべて国民への安心感や信頼性、説明性に係る用語が使用されている。国民への理解と合意を求めるならば、社会科学的な観点から、リスクコミュニケーション分野の研究者を研究プロジェクトに取り入れ、安全性に関する技術的なプロジェクトのみでなく、全体プロジェクトの社会科学的なアウトカムの取りまとめを扱うプロジェクトにも取り組むべきである。(C委員)
- ・地層処分や余裕深度処分に関する研究開発に継続的に巨額な予算が拠出されている。その一方で、本プロジェクトの多くは費用対効果の定量化は難しい。従って、各事業の研究開発の必要性や実施状況を広報活動やセミナーなどを通して、国民に懇切丁寧に説明していくことが必要である。(C委員)
- ・内容があまりにも多岐にわたっているため、事業アウトカムを定量的にすることができず、国民からみた場合、妥当性にやや欠いているようにも思え、より定量的となるようなアウトカム指標の設定が望まれる。また、細目となっている個々のプロジェクト間の関係があいまいで、全体として、信頼性や安定性の向上となっているかがやや不明瞭である。(E委員)
- ・アウトプットのクッキングを十分に検討されたい。(A委員)
- ・複数課題プログラムとしてのアウトカム指標また目標値は正確に示されていない。また、この年限の中で何をアウトカムとして出すべきか、指標は何かを全体計画の中で明確に示されていない。その結果、アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力についての議論ができないことになってしまう。また、問題解決に与える効果は断片的に出ているが、全体としての効果測定まで至っていない点が残念である。(B委員)
- ・東北地方太平洋沖地震の発生と東京電力福島第一原子力発電所の事故の影響により、国民の原子力発電に対する信頼感が確固たるものとなりえていない状況で、また廃炉費用の負担などに監視が集まる中で、技術的な信頼感を本研究プログラムを通して示すべきところである。しかし、全体像が十分示されていないために、国民に対して、本研究プログラムの実施内容、目指すところ、その結果原子力発電への信頼感の回復、事業実施者の努力などが伝わらないことは残念である。(B委員)

### 1-2-2 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性

複数課題プログラムの内容は、国内外で類似事例での研究は少なく独自性のあるものであり、体系立てて推し進めている点では世界でも類を見ないプログラムとなっている。また、個々の研究開発要素の内容は明確であるとともに、事業アウトプットは目標に向けて明確に整理されている。研究開発の委託先はそれぞれの専門分野にて実績がある研究機関であり、技術的な優位性や継続性があることから、事業アウトプット指標の目標及び年度計画は妥当かつ明確であると判断できる。加えて、各事業で目的とされた成果が得られており、各実施者においては真摯に取り組んでいる結果が表れている。

一方で、大きな長期的ロードマップは明確に示されているが、本評価期間における事業と全体ロードマップまた全体計画(国の基盤研究やJAEA事業)との関係が十分に示されているとは

言えず、原子力委員会放射性廃棄物専門部会評価結果の中で指摘された「真の全体計画」の策定が望まれる。また、一部の研究開発においては論文などの成果が少なく、国費による事業としての観点から、さらなる努力が必要であるが、研究プロジェクトの達成度を論文発表、特許出願の件数の多寡などの項目により評価することは難しい。

#### 【肯定的所見】

- ・アウトプットは、目標に向けて明確であり、よく整理されている。(A委員)
- ・個々の研究開発要素の内容は明確であり、国内外で類似事例での研究はなく独自性のあるものであり、それら要素を体系立てて、推し進めている点は世界でも類似のプログラムは見られない。(B委員)
- ・事業毎には目的とされた成果が得られており、各々の要素、また、地層処分技術調査や放射性廃棄物共通技術調査、低レベル放射性廃棄物関係のテーマ毎の成果は得られている点は評価できる。(B委員)
- ・論文発表、学会発表の数も全体では相当数出ており、各実施者においては真摯に各技術テーマに取り組んでいる結果が表れている。(B委員)
- ・個々の要素技術に関しては、論文や特許などの公開がなされ、個々の評価委員会による評価を受けており、プログラム内容に関しては妥当である。(E委員)
- ・研究開発プロジェクトの委託先はそれぞれの専門分野にて実績がある、わが国の有数の研究機関であり、技術的な優位性や継続性がある。従って、事業プロジェクトのアウトプット指標の目標及び年度計画は妥当かつ明確であると判断する。(C委員)
- ・個別構成要素に関する技術開発はよく行われている。特に堆積岩体を使う処分技術については進捗度や完成度が高い。(D委員)
- ・地層処分及び余裕深度処分の候補地選定プロセスの具体化がより重要になってきた。常に時間軸を意識した研究開発が必要である。その中で、地層処分基盤研究開発調整会議での研究開発の方向性を決める議論が重要になる。(C委員)

#### 【問題あり・改善とする所見】

- ・今回の事業を集成したプログラム全体が効果的な内容となり、真に実施しなければならない方向性になっているのか全体像が不明確になっている。これについては原子力委員会放射性廃棄物専門部会評価結果の中で、「真の全体計画」となることが望ましいとされているとおりであり、早急に策定される必要がある。(B委員)
- ・全体計画の中で大きな長期的ロードマップは明確に示されているものの、今回の事業についての全体ロードマップまた全体計画(国の基盤研究やJAEA事業)との関係も十分示されているとはいえず、次回中間評価時には全体を示し、事業の方向性の確認、事業計画の変更の必要性を示す必要がある。(B委員)
- ・高レベル放射性廃棄物の地層処分や余裕深度処分の研究開発は、核燃料サイクル事業の見直しとともに、大きく変更せざるを得ない状況にある。この際に、放射性廃棄物の一時的な貯蔵管理施設をどのように確保するかが必要になる。コンクリート構造物で建設する場合には、その設置場所(原子力発電所の敷地内)や施設計画、建設方法の課題に対して、目標年度(5年程度)を設定して具体的な方策を提案すべき時期にきている。(C委員)

- ・後発プロジェクトの研究推進が待たれる。特に、今後の、⑥沿岸部処分システム高度化開発の成果および⑩放射性核種生物圏移行評価高度化開発の展開に期待する。(D委員)
- ・各プロジェクトの目標設定とその達成度評価に関して、事業者自身による自己評価と専門家による外部評価との比較が容易にできるような評価制度にしていきたい。これは、PCDAによる評価判定システムの導入により事業の有効性と実効性を正確に評価するのに有効である。(C委員)
- ・研究プロジェクトの達成度を論文発表、特許出願の件数の多寡、また国際標準の形成、プロトタイプの作成などの項目により評価することは難しい。(C委員)
- ・一部のプログラムにおいて、論文などの成果が少ないものがみられ、公的な費用で実施している内容であることから、さらなる努力が必要である。(E委員)
- ・アウトプットの目標に、個々のプロジェクトを連携させた研究開発の必要性和具体的な記述が欲しい。(A委員)

### 1-2-3 当省(国)が実施することの必要性

放射性廃棄物の処理・処分は、原子力利用について国民がその利益を享受してきたことに鑑み、国が責任を持って長期にわたり管理・運営を実施する必要がある。他の産業廃棄物とは異なり超長期にわたり管理する必要があるものである以上、国がその処分方法について主体的に参画することは自明である。また、その基盤研究開発は予算規模が大きいため、利益確保の観点から、民間企業では十分な研究開発は困難である。よって、研究開発の持続性と継続性の確保の観点より、主体的かつ先行的に経産省(国)が取り組むべき事業である。加えて、この分野では、様々な研究領域にまたがる技術的難度の高い課題があり、成果の蓄積のために長期間の研究開発が必要であること、また長期的視点で国際技術協力や人材育成も行う必要があることなどから、経産省(国)が直接的に関与していくことが妥当であり、必要である。

一方で、現在取り組んでいる本事業に関して、研究開発の継承と統廃合がどのように行われてきたかを、国民に分かりやすく説明することが必要である。また、研究開発の中で、全体を俯瞰した総合評価を構築できる実務システムの検討やリーダーの役割を明確にしていくことが望まれる。

#### 【肯定的所見】

- ・経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準の当省(国)が実施することの必要性に示されている①から⑤の全てが潜在しているので国が実施することの必要性は当然のことである。(D委員)
- ・原子力発電所からの廃棄物の処理は国民がその裨益を享受してきたことに鑑み、国が責任を持って長期にわたり管理・運営を実施することが求められる。かかる費用も莫大にまた、長期にわたるため、民間企業のみでは十分な研究開発が行われない可能性がある。また、多くの関係機関、関係者の共同で進めることが必要であり、国及び資源エネルギー庁が責任を持ってかつ、十分な資金を効果的に活用することが求められている。(B委員)
- ・原子力発電は電力事業者だけが進めるものではなく、国政策として進め、その執行を電力会社が実施してきているものと政策的にはとらえられ、最終的には主権者である国民が責任を負い、その利益も国民が享受しているものである。その点では政策の実施者である国が責任を持って行うものであり、特に原子力廃棄物が他の産業廃棄物とは異なり超長期にわたり管理する必要がある

ものである以上、国がその処分方法について主体的に参画することは自明である。(B委員)

- ・高レベル放射性廃棄物や TRU の処分技術の基盤研究開発は、予算規模が大きく、また研究開発の持続性と継続性の確保より、主体的かつ先行的に経産省(国)が取り組むべき事業である。民間企業には費用対効果(利益確保)からできない。(C委員)
- ・地層処分はさまざまな領域にまたがり、様々な技術的課題があり、長期にわたる研究開発期間が必要であり、高い技術的難度のあることから、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されないことが想定されるなど、国で実施することが不可欠である。(E委員)
- ・放射性廃棄物処分の技術開発は、わが国のエネルギー政策との関連で、原子力行政また原子炉の廃炉問題にも直接に関係しているものである。さらに、わが国での放射性廃棄物処分の研究開発の実績を踏まえた国際技術協力や人材育成等にも経産省(国)が直接に関与していくことが必要である。(C委員)
- ・長期も含めて分野が多岐にわたる研究開発である。成果の蓄積に時間を要する基盤研究と、実務的であり集中的な投資と短期の成果を期待する基盤研究などを総合的にマネージするには、国による実施が必要であり、妥当である。(A委員)

#### 【問題あり・改善とする所見】

- ・地層処分基盤研究調整会議で作成した全体計画(平成25年度～平成29年度)が十分に機能しているかの検証がまず重要である。その中で、全体計画の策定方針と体系化を示し、研究開発の継承と統廃合がどのように行われてきたかを、国民に分かりやすく説明することが必要である。(C委員)
- ・使用済み核燃料の直接処分に関しても国がかかわる理由を整理する必要があるだろう。例えば、全ての国民による電力の享受があるから、今後、廃炉にかかわって次々に処分事業が必要になるから等。(D委員)
- ・関係機関との研究調整だけでなく、全体を俯瞰した総合評価を構築できる実務システムとリーダーの役割を検討することが望まれる。(A委員)

#### 1-2-4 各技術要素のアウトカムに至るまでのロードマップの妥当性

本事業は放射性廃棄物処分関連分野の全体を網羅しており、プロジェクトはそれぞれの研究機関に適切に委託されている。また、個別の研究開発のロードマップは分かりやすく明示されており、目標の達成が見込まれる事から、事業アウトカム達成に至るまでの研究開発のロードマップは妥当である。加えて、当初設定されたプロジェクトの事業化と技術要素の具体化が着実に進んでいる点や長期的な取り組みの中での位置づけを理解できる点で評価できる。

一方で、個別の研究開発の連携を示しながら複数課題プログラムのアウトカム及びその指標を明確化したうえで評価を得る形とするとともに、さらなる技術開発の加速化や標準化の策定が望まれる。

#### 【肯定的所見】

- ・全体として、事業アウトカム達成に至るまでの研究開発のロードマップは適切である。(C委員)
- ・個々のプロジェクトのロードマップはわかりやすく明示されているし、目標の達成が見込まれる。(E委員)

- ・高レベル放射性廃棄物や TRU の地層処分に関する事業は、短期・中期・長期のプロセスを見据えた、先行的な研究開発が実施されており、当初設定されたプロジェクトの事業化と技術要素の具体化が着実に進んでいる。(C委員)
- ・本事業は放射性廃棄物(高レベル、TRU、低レベル)の全体を網羅しており、プロジェクトはそれぞれの研究機関に適切に委託されている。(C委員)
- ・現状の個別プロジェクトごとのロードマップは妥当である。(A委員)
- ・全体計画の中で示されている事業達成ロードマップは全体像をとらえ、長期的な取り組みの中で位置づけを理解できる点で評価できるものである。(B委員)
- ・個々の事業についてのアウトカムはある程度示されているが、複数事業プログラムとしての評価が難しい。(B委員)

#### 【問題あり・改善とする所見】

- ・核燃料サイクル及び地層処分の国の基本方針がゆらいでいる。この時期に、ロードマップを明確に定めることが難しい。また、国の原子力政策の根本である、今後、何年間、どのような規模で、原子力発電を継続(維持)していくかの基本方針を国が主体的に決めないと、将来の放射性廃棄物の総量とその発生時期が見込めない。このため、低レベル及び高レベルの放射性廃棄物処分の具体的な制度設計、さらに施設設計にまでたどり着けていない現状がある。国が基本方針を明確に定めることが、すなわち国民の不安感の払拭や信頼性の回復するための前提条件である。(C委員)
- ・技術開発の加速化が必要である。(D委員)
- ・標準化の策定が必要である。(D委員)
- ・基盤研究と実務的基盤研究の位置付けと各個別研究の関連分野との連携を明示したロードマップが欲しい。(A委員)
- ・複数事業プログラムのアウトカムが示されていない以上、評価項目、評価基準に対する評価ができない。アウトカム及びその指標を明確に示したうえで事業実施を行い、評価を得る形にしなければならない。(B委員)

#### 1-2-5 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性

研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制などの研究体制は妥当である。地層処分基盤技術調整会議が全体の各事業を調整しつつ、連携して進めており、その調整と資源エネルギー庁の監督のもと実施主体が事業を推進していく体制となっている。調整会議においてPDCAサイクルを回しながら関連研究機関が実施する基盤研究の全体計画を策定する体制は優れており、資源エネルギー庁が責任を負うことを明確にしている点は国の関与という点で評価できる。研究開発の委託先は、それぞれの専門分野にて実績がある研究機関であり、技術的な優位性と継続性があるとともに、研究開発計画における研究開発責任者の選定は適格である。研究開発では外部委員会による評価を受けており、毎年の研究開発の進捗状況や予算配分にチェックが適切にされている。また、PDCAサイクルによる評価システムも機能していると評価できる。

一方で、国民への説明責任を果たすためにも調整会議の透明性が求められる。国民への理解と合意を得るために、社会科学的な観点からのアプローチにも期待したい。また、専門家の育成・確保は、研究開発の持続性及び継続性の確保からも重要な課題である。関連のある多様な分野で多くの人材の育成が性急に望まれるが、正規の教育機関に頼るだけでは人材の確保が困難であろうことから、文科省と連携・協議し、自前の育成方途を構成し早急に人材を確保することが急務である。外部委員会の委員に若手の研究者や民間からの研究者を登用することが望まれる。

#### 【肯定的所見】

- ・研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制などの研究体制は妥当である。(E委員)
- ・地層処分基盤技術調整会議が全体の各事業を調整し、連携して進めている体制は妥当である。(B委員)
- ・その調整と資源エネルギー庁の監督のもと NUMO が事業を推進していく体制も妥当であり、資源エネルギー庁が責任を負うことを明確にしている点は国の関与という点で評価できる。(B委員)
- ・研究開発プロジェクトの委託先は、それぞれの専門分野にて実績がある研究機関であり、技術的な優位性と継続性がある。研究開発計画における研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の選定は適格である。(C委員)
- ・個々のプロジェクトの実施体制は妥当である。(A委員)
- ・研究開発プログラムには、主査をおく外部委員会が取り入れられ、毎年の研究開発の進捗状況や予算配分にチェックが適切にされている。また、PDCA サイクルによる評価システムも機能している。(C委員)
- ・プロジェクトの実施・マネジメント体制が機能している。(C委員)
- ・技術開発のための人材、機関を総動員している印象を受ける。現在では、現行の実施体制が精一杯のところであろう。(D委員)
- ・調整会議においてPDCAサイクルを回しながら関連研究機関が実施する基盤研究の全体計画を策定する体制も優れている。(B委員)

#### 【問題あり・改善とする所見】

- ・国民への理解と合意を得るためにも、リスクコミュニケーションの構築にさらに努めていただきたい。この分野では社会科学的な観点からのアプローチにも期待したい。事業評価の委員にもリスクコミュニケーション分野の研究者を加えていただきたい。(C委員)
- ・関係のある多様な分野で多くの人材の育成が性急に望まれる。(D委員)
- ・外部委員会の主査に若手の研究者や民間からの研究者を積極的に登用していただきたい。これは研究開発の持続性及び継続性の確保からも重要な課題である。(C委員)
- ・専門家の育成・確保は、正規の教育機関に頼るだけでは人材の確保が困難であろう。学生や研究者の待遇、施設・設備の増設・新設を一層充足していく方向で、文科省と連携・協議し、自前の育成方途を構成し早急に人材を確保することが急務であろう。(D委員)
- ・個々のプロジェクトを俯瞰し、総合評価をする組織を体制図に組み込むことが必要か。(A委員)



- ・調整会議の透明性が十分見えない。どのような調整をおこない、運営がなされているのかがよくわからない。国民への説明責任を果たすためにも調整会議の透明性が求められる。(B委員)
- ・提示されたマネジメント体制図では、資源エネルギー庁が委託を行い、各事業の委員会においてPDCAを回す形がとられているがその各事業のマネジメントを行う機関が体制的には示されていない。資源エネルギー庁が委託を通して責任を負っている形であるが、実質上のマネジメントを行う機関も必要と考えられる。(B委員)
- ・外注が多くみられ、どのように管理されたかなどが不明で、やや信頼性に欠くように思える。(E委員)

### 1-2-6 費用対効果

本プログラムの含まれる事業全体は、超長期実施されるため事業のアウトプットやアウトカムに対する費用対効果の妥当性の議論が困難であり、他の研究開発などのプログラムとの比較は意味をなさない。ただし、年度ごとに事業アウトプット及びアウトカム、経費配分は外部委員会により適切にチェックされており、全体的に見て、中間段階としての費用対効果は妥当であると言える。

一方で、費用対効果を評価するためには、評価内容に明確に費用に対する効果を示す必要があるが、全体に対する各研究開発への経費配分の基本方針が不明瞭である。国費投入の観点から、巨額な予算に対しての厳しい査定と透明化が常に必要である。また、何をもちて妥当な費用対効果とするかについての基準も必要である。

#### 【肯定的所見】

- ・本プログラムの含まれる事業全体は、超長期実施されるため事業のアウトプットやアウトカムに対する費用対効果の妥当性の議論はできないし、他の研究開発などのプログラムとの比較は意味をなさない。しかし、無尽蔵につき込むべきものではないが、政策的、財政的に妥当性を判断する第三者の専門員会を別に設けて評価を行うことも検討すべきである。(B委員)
- ・外部委員会の評価により、年度ごとに事業アウトプット及びアウトカム、経費配分が適切にチェックされている。(C委員)
- ・全体的にみて、工学的な実施項目が多くあるため、基礎研究より費用が高くなっていることを考慮すれば、費用対効果は妥当である。(E委員)
- ・現状では、妥当であると考える。(D委員)
- ・個別プロジェクトの性格や達成の程度にもよるが、中間段階としてはおおむね妥当である。(A委員)

#### 【問題あり・改善とする所見】

- ・研究プロジェクトの多くは、実証研究レベルの段階にまで到達していないので、年度ごとの費用対効果の算出ができない。(C委員)
- ・外部委員会による評価において、事業者と評価委員との間での質疑応答の場を設けるべきである。そのため、評価委員が参加したセミナーや報告会を開催するなど、実質的な討議時間を増やす工夫が必要である。(C委員)

- ・全体に対する各プロジェクトへの経費配分の基本方針が分からない。すべて国民の税金であるので、巨額な予算に対しての「見えるか」と「厳しい査定（査察）」が常に必要である。（C委員）
- ・どのプロジェクトも人件費を含めて（人材育成にも資する）、1億円／年程度は必要でしょう。（D委員）
- ・個々のプロジェクトで成果としての論文などが少ないものもみられるため、今後の努力を望みたい。（E委員）
- ・個別プロジェクトの性格にもよるが、アウトカムに技術的信頼性と安心感の醸成を共通して取り上げている点では、途中経過も含めて、成果を見せやすい講演やメディアへの出演などの一層の努力が望まれる。（A委員）
- ・費用対効果を評価するためには、評価内容に明確にその点を示す必要がある。また、何を持って妥当な費用対効果とするかについての基準も示す必要がある。（B委員）
- ・事業によっては定量的な効果量を示すことができるものもある。そのような事業については、試算を行うことが必要である。（B委員）

### 1-2-7 総合評価

現状で、様々な放射性廃棄物がすでに多量に発生しており、その処分について速やかな事業体制の確立と事業の具体化が求められている。放射性廃棄物の処分問題は国が主体となり、長期にわたって継続すべき国策事業であり、この点は国民の認識と合意が得られつつある。これまでの研究開発は実施計画に基づいて段階的かつ継続的に実施されてきていることがロードマップにおいて明確に示されており、各事業の位置付けは明確であると評価できる。アウトカムとしては、「真の全体計画」が目指す内容を明確に示してゆく必要があるものの、計画と目標達成のアウトプットはおおむね妥当であり、全体的にプログラムの実施状況は妥当であると評価できる。

一方で、個々の事業についての目標設定などは明確であるが、その結果として全体で何を目指しているかを明瞭にする必要がある。また、技術的信頼性の向上が必ずしも国民の安心感の醸成と一致しないことが考えられ、放射性廃棄物処分の研究開発を国が主体となって実施することの意義、現状や課題を国民に分かりやすく、継続的に情報発信することや、国際的な議論の経緯や諸外国の経験を含めた基本的な考え方を共有することなどの取組が必要である。加えて、今後少なくとも100年以上は続く処分事業のための人材確保を進める具体的なプログラムを検討すべきである。

#### 【肯定的所見】

- ・わが国では、高レベル、TRU 及び低レベルの放射性廃棄物がすでに多量に発生している現状があり、放射性廃棄物処分の速やかな事業体制の確立と事業の具体化が求められている。このような現状を鑑みると、原子力廃棄物の処分問題は国が主体となり、長期にわたって継続すべき国策事業であり、このことには国民の認識と合意が得られている。（C委員）
- ・高レベル・TRU 放射性廃棄物の地層処分や低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分は、短期・中期・長期の実施計画を定めて、厳密に運用するべきであり、これまで研究開発が実施計画に基づいて段階的かつ継続的に実施されてきている。（C委員）

- ・平成40年代後半における地層処分の実施に向けた調査段階として精密調査を実施していることが大きなロードマップにおいて明確に示されており、各事業の位置づけは明確になっている。(B委員)
- ・アウトカムとしては、本研究開発によりその主体性、複合化による課題の解決を行い、「真の開発計画」が目指す内容を明確に示す必要がある。(B委員)
- ・無機構成要素や工学技術に関する事項の考察・開発はかなり進み、ほぼ完成の域に達している。(D委員)
- ・様々な項目からみても、全体的にプログラムの実施状況は妥当である。(E委員)
- ・計画と目標達成のアウトプットはおおむね妥当である。(A委員)

#### 【問題あり・要改善とする所見】

- ・全ての成果をとりこんで総合的・全体的に処分の安全・実施可能性を確認する総合化作業が今後の課題となろう。(D委員)
- ・個々の事業について目標設定などは明確にされているが、その結果全体で何を目指しているかがはっきりする必要がある。(B委員)
- ・福島県での放射性物質の汚染問題や福島第一発電所等の廃炉問題にこれまでの研究開発成果を活用し、放射性廃棄物処分に係る全体的な課題の1つとして、主体的に係っていただきたい。その一方で、経済産業省と文部科学省、環境省がそれぞれ管轄する研究機関の役割分担が国民の立場からは良く理解できない。この課題はいまだ解決されていない。(C委員)
- ・放射性廃棄物処分の研究開発を国が主体となって実施することの意義、現状と課題を国民に分かりやすく、継続的に情報発信することが必要である。広報活動が重要である。(C委員)
- ・真の全体計画がそろそろ策定されることが期待される。(B委員)
- ・全体像の方向性に沿った各事業の実施とそのアウトプットやアウトカムについてしっかり目標設定の折に示す必要がある。(B委員)
- ・事業アウトカム指標が、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」となっているものが多数あります。技術的信頼性の向上が必ずしも国民の安心感の醸成と一致しないことが考えられます。「最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価報告書について (H28.10.6)」で、国民理解の醸成は、わかりやすい情報提供や、国際的な議論の経緯や諸外国の経験を含めた基本的な考え方の共有ということが今後の取り組みとして挙げられており、この方向での改善が今後、必要である。(E委員)
- ・今後少なくとも100年以上は続く処分事業のための人材確保を進める具体的なプログラムを検討すべきである。(D委員)
- ・論文などの成果の公表が少ないプロジェクトがみられますので、今後の努力が必要である。(E委員)
- ・アウトカムと分野間の連携へのより一層の検討が望まれる。(A委員)

## 第2章 研究開発課題の概要及び評価

### 2-1 地層処分技術調査

#### 2-1-1 研究開発課題（プロジェクト）概要

##### (1) 事業アウトカム

・要素技術①：岩盤中地下水移行評価確証技術開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
<p>コントロールボーリング調査技術や割れ目の多い岩盤にも適用可能なトレーサー試験技術を開発し、実際の岩盤での地下水移行評価を可能とする。</p>	<p>(1) 堆積軟岩に適用可能な方向性が制御可能な掘削と孔内での調査技術を開発し、その適用性を確認する。</p> <p>(2) 岩盤を対象とした原位置トレーサ試験技術、割れ目特性調査技術を開発し、原位置において有効性を実証する。</p>	<p>【成果】 論文数: 7件 学会発表数: 41件</p> <p>【達成状況】 (1) コントロール掘削及び孔内調査に関する機器を開発し、孔長1000m、深さ450mの孔井を当初の計画に沿って掘削し、孔内調査やモニタリング等により、断層構造や水理地質構造を明らかにすることが可能となった。</p> <p>(2) トレーサ試験技術、割れ目特性調査技術について、改良した試験装置を用いたトレーサー試験により、元素ごとの割れ目充填鉱物等への吸着性が推定でき、割れ目の多い岩盤での適用性を確認できた。</p>
<p><b>事業アウトカム指標</b></p> <p>コントロールボーリング調査技術及び割れ目の多い岩盤にも適用可能なトレーサー試験技術を開発し、岩盤中の地下水移行の状況を提示可能にすることで、<u>地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。</u></p>		

・要素技術②：地質環境長期安定性評価確証技術開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
将来の自然現象に伴う超長期の地質環境の変動を考慮できる数値モデル及びその解析・評価に必要な調査技術を整備する。	(1)各個別モデルを統合化した地質環境長期変動モデルを構築するとともに、これらに必要な可視化・数値化技術や不確実性の評価手法を提示する。  (2)地形・地質モデル、水理モデル、地球化学モデル及び地表環境モデルの作成・改良・検証に必要なデータを取得するための革新的要素技術を開発する。	【成果】 論文数:1件 学会発表数:17件  【達成状況】 (1) 個別の分野のモデルを始めから終わりまで通貫した統合モデルを構築するフローを提示し、一連の相互の関係を明確にした。これにより、時間変化する地質環境を可視化する道筋を示した。また、この時間変化するモデルを可視化するために三次元CGのプロトタイプを作成した。  (2) 堆積物の化学組成の変化に基づいた山地の形成過程を復元する技術等の開発を行い、長期の地形・地質変化等のモデル化に有効な技術を整備した。
<b>事業アウトカム指標</b>		
将来の自然現象に伴う地質環境の変動スケールを把握する技術等を開発することにより、地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。		

・要素技術③：処分システム評価確証技術開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
処分施設近傍(ニアフィールド)を中心とした地層処分システム変遷と核種移行を評価するための技術や過酷事象の地層処分システムへの影響を評価する技術等により、人工バリア及びその周辺岩盤(ニアフィールド)で生じる複雑な現象を評価可能とする。	(1)ニアフィールドのシステム変遷と核種移行を評価するための先端的技術を開発する。  (2)過酷事象の地層処分システムへの影響に関する評価確証技術を開発する。	【成果】 論文数:8件 学会発表数:42件  【達成状況】 (1) 人工バリア中の核種移行評価技術開発では、緩衝材候補材料である圧縮ベントナイトの核種移行データを取得し、これらのデータの塩濃度依存特性を明らかにした。これにより、システム変遷と核種移行を評価する上でより正確な核種移行パラメータ設定が可能となった。  天然バリア中の核種移行評価技術開発では、花崗岩を対象に収着性の異なる複数の元素を用いた割れ目中の通液試験を行った結果、現状の評価モデルによる解析結果と試験結果に乖離がみられることが明らかになったため、評価モデルの精緻化に向けた技術課題の整理に着手した。  (2) 過酷事象の影響については、断層が処分施設に直撃した際の健全性を評価する手法の開発を行い、断層のずれにより岩盤とオーバーパックが接触することも想定した解析が可能となった。
<b>事業アウトカム指標</b>		
地層処分事業における処分場設計や性能評価技術に科学的技術基盤を与え、安全性と説明性を強固にするとともに、安全規制策定に対しても科学技術的基盤を提供することで、地層処分技術の社会的受容性及び信頼性向上に貢献する。		

・要素技術④：処分システム工学確証技術開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
地下環境を考慮した人工バリアの製作・施工技術及びモニタリング技術等の工学技術を、地下研究施設を活用して確証していくとともに、自然災害に対する操業期間中の工学的対策に関する基盤技術の整備を行う。	(1)オーバーバック、 (2)緩衝材 (3)周辺岩盤 上記(1)～(3)の長期挙動を考慮した品質／健全性評価手法を構築し、判断指標、許容値及び工学的対策を提示する。  (4)モニタリングや施工管理等を組み合わせた包括的なプログラムの全体枠組みを具体化する。また、モニタリングにおける無線通信技術の実用化の見通しを得るとともに、無線給電技術の基礎試験等を行い今後の技術開発課題等を抽出する。  (5)自然災害に起因する火災に対する操業期間中の地上施設および地下施設を対象とした安全確保対策を提示する。	【成果】 論文数:1件 学会発表件数:26件  【達成状況】 (1) 地下研究施設でのオーバーバック溶接部腐食試験を開始し、腐食速度等を測定した。また、溶接部の欠陥寸法及び位置測定技術のデータ処理手法変更により測定精度が向上することを解析により確認した。  (2) 緩衝材の再冠水過程に関する試験データを取得し、浸潤速度に関する相関式等を提示した。また、地下研究施設で緩衝材流出試験を実施し、湧水条件によっては緩衝材の流出が発生することが確認された。  (3) 遠心模型試験により、人工バリアと周辺岩盤挙動に関する100年間相当のデータを取得した。また、材料試験データによる感度解析結果から、緩衝材の剛性等が長期的な変形挙動に及ぼす影響を定量化した。  (4) 国際共同研究に参画し、今後のわが国の性能確認プログラムの全体枠組みの構築に資する技術情報を整備した。また、地下施設モニタリングにおける無線通信及び無線給電技術について、地下施設での実用性の確認等を行い、成果を国際共同研究にフィードバックした。  (5) 自然災害に起因する火災に着目して、地下及び地上施設を対象とした解析を実施し、放射性物質の環境への放りリスクの検証を行った。
<b>事業アウトカム指標</b>		
人工バリアの閉じ込め機能の長期健全性等の適切なモニタリング方策の提示により、地層処分の技術的信頼性の向上、国民や処分場受入自治体の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。 また、自然災害対策の提示により、処分施設の安全性や操業期間中の一般労働安全や放射性安全に対する説明性の向上に資する。		

・要素技術⑤：海域地質環境調査確証技術開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
沿岸域深部の地質・地下水環境を高精度に把握する手法を確立する。	(1)物理探査手法による沿岸浅海域の海底水理地質モデル構築により、浅海域海底物理探査法を体系化し、沿岸域の地質構造と地下水環境の把握手法として確立する。  (2)海域での掘削調査、海底湧出地下水調査、地下水流動解析等を実施し、広域のかつ長期的な地下水流動及び海域地質環境評価技術を確認する。	【成果】 論文数:13件 学会発表件数:25件  【達成状況】 (1) 事前シミュレーションの実施により、最も適切な物理探査方法を選択し、センサーを最適な位置に配置して探査することで、断層を含む地質構造を高精度に把握する手法を開発した。  (2) 開発した海域微地形探査技術により、海底湧出地下水を発見し、地下水を採取・分析した。さらに物理探査の結果と統合して断層位置を特定した。この成果と沿岸域に掘削したボーリング孔から得た地下水試料の分析結果に基づき、沿岸域地下の水理構造を把握する手法を確証した。
<b>事業アウトカム指標</b>		
沿岸域における地質環境調査の評価技術に着目して、海底下の特徴的な地質・地下水環境の調査・評価手法の確証を行うことにより、処分事業に対する技術的信頼性の向上に資する。		

・要素技術⑥：沿岸部処分システム高度化開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
沿岸部における自然現象に関する地質学的調査・分析等、地下水の長期安定性を把握するためのボーリング調査・解析等、塩水環境での人工バリア材料の特性変化を把握するための室内試験等、核種移行・生活圏評価に係るモデル及びパラメータの整備等を行うため文献調査を行う。	(1)沿岸部における地質環境の調査技術の高度化開発のための文献調査を行う。  (2)沿岸部における工学技術の高度化開発のための文献調査を行う。	【成果】 論文数:1件 学会発表数:5件  【達成状況】 (1) 地質環境の調査技術に関しては、海陸数値標高モデルから傾斜区分図を作成し、海水準の低下によって海底下から陸化する地形の特徴を示した。また、沿岸部地下水の長期安定性の評価には、現在と氷期の降水、現海水と化石海水の識別が重要であること等を示した。  (2) 工学技術に関しては、人工バリア材料等への塩水系地下水の化学的影響の観点で、材料等への影響とそれらの相互作用は、処分システム全体の挙動として捉えることが必要であること等を示した。  (3) 安全評価技術に関しては、淡水系地下水と海水系地下水の分布やその時間変化等を安全評価で適切に取り扱うための評価手法の改良や評価事例の蓄積等が必要であることを示した。
<b>事業アウトカム指標</b>	(3)沿岸部における安全評価技術の高度化開発のための文献調査を行う。	
沿岸部の特性に関連する課題の解決に向けた取組を着実に進め、処分地選定時の国民の安心感や・納得感、技術に対する信頼感の醸成に資する。		

・要素技術⑦：TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
TRU廃棄物処理において、ヨウ素129及び炭素14の被ばく線量の低減を可能とする。また、TRU廃棄物の人工バリア材の性能や長期挙動を評価するための技術基盤を確立する。	(1)3つのヨウ素固化技術を改良し、廃棄体からのヨウ素放出を抑制する。  (2)ハル及びエンドピースの材質であるジルカロイ及びステンレス鋼の腐食過程をモデル化し、炭素14の放出に関する影響度合いを確認する。  (3)ベントナイトの変質の理解に資するナチュラルアナログサイトを特定し、その調査により変質過程の評価と解析を行うことで、セメント系材料による緩衝材の変質が予測の範囲内であることを確認する。	【成果】 論文数:16件 学会発表数49件  【達成状況】 (1) ヨウ素129固化体の溶出試験や固化方法の改良から、アルミナ固化体の空隙率の低減、BPIガラス固化体のヨウ素浸出挙動への地下水中の溶存イオン種の影響、セメント固化体中のヨウ素固定鉱物層を確認し、ヨウ素129の放出を抑制できることを確認した。  (2) 金属廃棄物の腐食に起因する炭素14の放出に関して、ジルカロイの長期腐食試験及びステンレス鋼の短期腐食試験の結果、酸化膜の成長により腐食速度が次第に遅くなることが明らかになった。  (3) フィリピンのパラワン島でナチュラルアナログサイトとしてふさわしい場所を選定した。今後、現地調査、鉱物化学分析によりアルカリ環境下での変質プロセスと時間スケールを明らかにする。
<b>事業アウトカム指標</b>	(4)ベントナイトの変質に伴う人工バリアの長期変遷挙動の解析手法を高度化するとともに、その化学的変遷や熱変質の影響を解析するために必要なデータを収集する。  (5)ガス発生・移行に係る評価手法を構築するとともに、ガスによる人工バリア性能への影響を評価するために必要なデータを収集する。	(4) セメント系材料から供給されるアルカリにより生じる緩衝材中の鉱物の溶解や2次鉱物の沈殿等に伴う密度分布のばらつき発生に係るシミュレーションを行うことができた。また、熱変質試験の結果、50℃以上でセメント系材料の結晶化が起きることを確認した。  (5) ガス移行試験及び力学試験を実施し、その再現解析を行った結果、発生するガスにより緩衝材が物理的に破断する可能性を示す条件を明らかにした。
TRU廃棄物の処理・処分技術に係る課題を解決することにより、安全評価の信頼性を向上させ、処分事業への国民の信頼感の向上に資する。		

・要素技術⑧：セメント材料影響評価技術高度化開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
TRU廃棄物の地層処分におけるニアフィールドの核種移行解析を、セメント材料によるニアフィールドのバリア性能の経時的変化を反映させながら解析可能にする。	(1)セメントの長期挙動及び処分環境に与える影響に関する個別の現象を把握し、それに基づくモデルを開発する。  (2)個別評価モデルを連成させる複合現象評価技術及び評価された場における核種移行解析技術の開発を行う。  (3)(1)、(2)の技術により評価された場を核種移行経路として表現し、核種移行解析を行う技術の開発を行う。	【成果】 論文数:2件 学会発表数3件  【達成状況】 (1) セメント材料の長期影響について、化学的挙動と物質輸送特性の変化及びこれらの連成挙動を表現するためのモデルを開発し、当該モデルの妥当性を確認した。その結果、低アルカリ性セメントを処分場に適用した場合の安全評価が可能となった。  (2) (1)に加え、力学に係る個別現象が相互に影響しながら核種移行の場を変化させる様子を評価する複合現象評価モデルを開発し、2次元的な処分施設の時間的・空間的变化を評価できるようになった。  (3) (1)、(2)の技術により評価された2次元の時間的・空間的变化を伴う場における核種移行挙動を解析する手法を開発した。これにより従来の手法より現実に近い条件で核種移行を評価できる見通しを得た。
事業アウトカム指標		
TRU廃棄物の地層処分システムの長期健全性を提示可能にすることで、処分事業に対する技術的信頼性の向上に資する。		

・要素技術⑨：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
廃棄体の搬送・回収技術について、地上で緩衝材除去技術を実証する。また、地下環境で廃棄体の搬送から定置、回収の一連の技術を実証し、実際の地下環境で回収技術が適用可能であることを示す。	(1)定置した廃棄体の回収技術の実証試験を地上で実施し、回収における中核技術である緩衝材除去技術の実証を行う。  (2)地下環境での廃棄体の搬送から定置、回収の実現のための一連の技術を実証するため、地下研究施設等を利用した実証試験を行う。	【成果】 論文数:0件 学会発表数:4件  【達成状況】 (1) 回収における中核技術である緩衝材除去技術を周辺装置を組み合わせたシステムとして整備し、地上での実規模大の緩衝材除去実証試験の実施により、技術的な実現可能性を確認した。  (2) 廃棄体の搬送・定置・回収技術について、これまでの基盤研究で実施した操業に係る工学技術の成果を踏まえ、地下環境での実証試験計画を策定し、地下実証試験サイトの選定、実証試験装置の設計・製作に着手した。
事業アウトカム指標		
定置した廃棄体の回収技術の実現性や信頼性を示し、国民の地層処分事業に関する信頼感を醸成する。		



・要素技術⑩：直接処分等代替処分技術開発

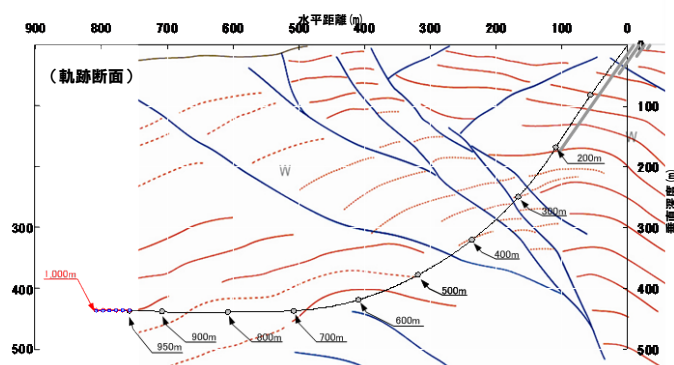
事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
我が国の地質環境条件や使用済燃料の特性を踏まえた直接処分を含む代替処分オプションについて、必要な人工バリア材の開発等を行い、具体的に検討可能とするための技術的基盤を整備する。	<p>(1) 直接処分システムの閉じ込め性能を向上させる先進的な材料の開発及び閉じ込め性能評価手法の高度化を行う。</p> <p>(2) 直接処分施設について、人工バリア・地下施設・地上施設等の設計を検討する。</p> <p>(3) その他の代替処分オプションについての調査・検討を行う。</p>	<p>【成果】 論文数: 3件 学会発表数: 13件</p> <p>【達成状況】 (1) 直接処分における処分容器の新材料候補としてバルク金属ガラスに着目し、Ni基合金等が有望な候補となることの示唆を得た。</p> <p>(2) 直接処分における処分容器について、我が国のPWRとBWRの燃料を対象とした処分容器の寸法や燃料集合体の収容本数を設定することができた。 また、緩衝材について、厚さや密度等の仕様ガラス固化体の場合と同様とできることを、岩盤クリープ変形・廃棄体自重沈下・処分容器腐食膨張変形等の複合解析により確認した。</p> <p>(3) 海外の超深孔処分の概念を調査し、我が国への適用の検討において着目する課題として、地質環境条件(応力、水理)や地震活動による掘削や定置への影響の可能性等を抽出した。</p>
事業アウトカム指標		
我が国における使用済燃料の直接処分を含む代替処分オプションの実現可能性を検討可能とすることにより、原子力利用における柔軟性を確保し、今後のバックエンド対策の着実な推進と処分事業への国民の安心感や納得感の醸成に資する。		

(2) 研究開発内容及び事業アウトプット

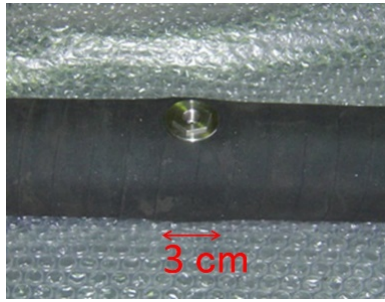
a. 要素技術①：岩盤中地下水移行評価確証技術開発

全体実施概要

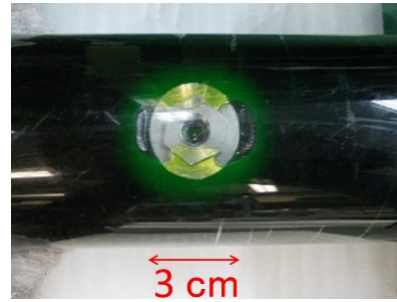
- ・堆積軟岩に適用可能な方向性が制御可能な掘削と孔内での調査技術を開発し、その適用性を確認する。
- ・岩盤を対象とした原位置トレーサ試験技術、割れ目特性調査技術を開発し、原位置において有効性を実証する。



コントロール掘削実績(HCD-3孔井:上幌延サイト)



(a) パッカーに取り付けた  
注入用ポート



(b) アクリル管をボーリング孔に  
見立ててウランを注入した

**トレーサ試験装置のパッカー一体型孔内注入装置**

平成 27 年度までの主な成果

- ・コントロール掘削および孔内での調査に関する機器を開発し、上幌延サイトにおいて大曲断層を対象として孔長 1000m、深さ 450m の孔井を当初の計画に沿って掘削し、孔内調査やモニタリングなどにより、断層構造や水理地質構造を明らかにすることが可能となった。
- ・トレーサ試験技術、割れ目特性（開口幅、流動性等）調査技術について、改良した試験装置（右下図）を用いて瑞浪超深地層研究所で実施したトレーサ試験により、元素ごとの割れ目充填鉱物等への吸着性が推定でき、割れ目の多い岩盤での適用性が確認できた。

全体スケジュール

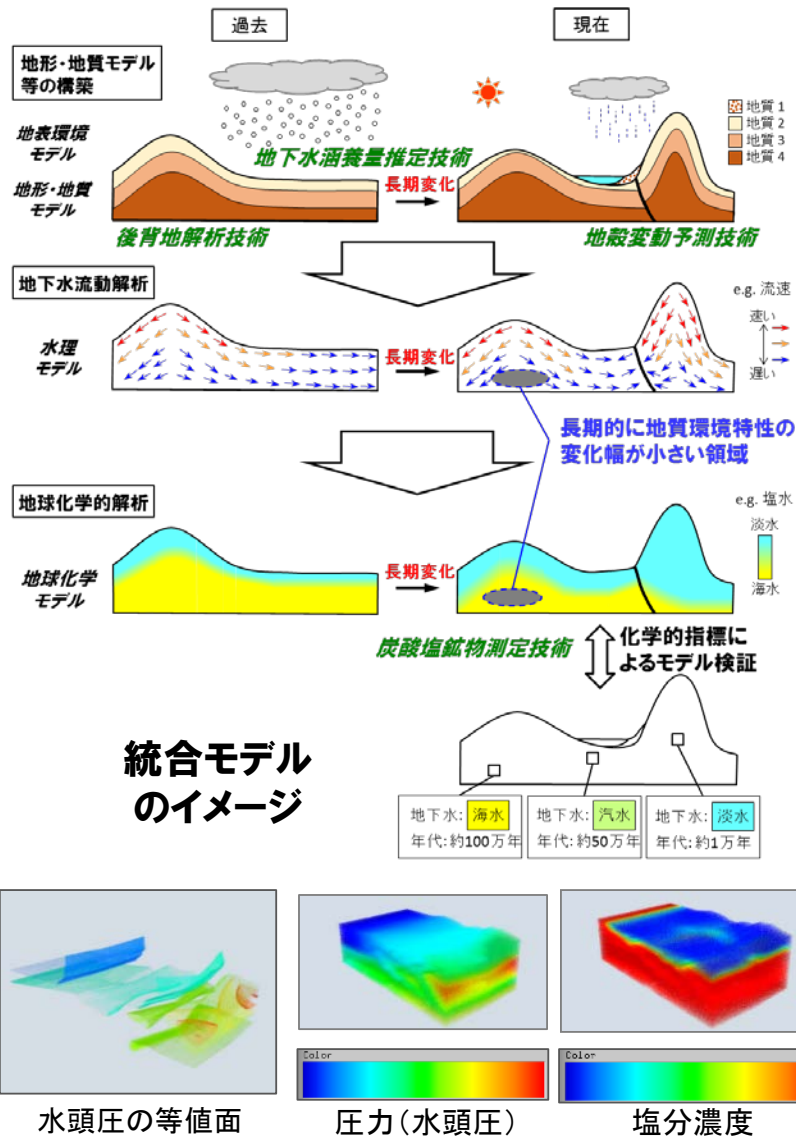
実施項目	H12-17	H18-24	H25	H26	H27	H28	H29
岩盤中地下水移行評価確証技術開発	掘削技術 設計・試作						
	調査技術 設計・試作	改良					
	現地適用・体系化 北進サイト	上幌延サイト	モニタリング マニュアル				
岩盤中物質移行特性評価技術の開発		技術開発 設計・試作	改良				
			現地適用 Grimsel	高度化		瑞浪	

**b. 要素技術②：地質環境長期安定性評価確証技術開発**

全体実施概要

- ・これまで個別に進められてきた地形・地質モデル、水理モデル、地球化学モデル及び地表環境モデルを統合化した地質環境長期変動モデルを構築するとともに、これらに必要な可視化・数値化技術や不確実性の評価手法を提示する。
- ・モデルの作成・検証に必要なデータを取得するための革新的要素技術の開発を行い、地質環境

長期変動モデルに反映する。



### 地下水流動解析結果の可視化の例

#### 平成 27 年度までの主な成果

- ・ 堆積物の化学組成の変化に基づいた山地の形成過程を復元する技術（後背地解析技術）や、長期的な気候変動及び地形変化を考慮した地下水涵養量の推定技術等の開発を行い、百万年間という長期の地形・地質変化や地下水流動のモデル化に有効な技術を整備した。
- ・ 個別の分野のモデルを始めから終わりまで通貫した統合モデルを構築するフローを提示し、地形の変化が地下水流動に影響を及ぼし、さらに地下水流動が水と岩石との反応に影響を及ぼす、といった一連の変化の流れと相互の関係を明確にした。これにより、個別のモデルのみでは把握が困難であった時間変化する地質環境を可視化する道筋を示した。また、これら時間変化するモデルを効果的に可視化するために必要な技術としての三次元CGのプロトタイプを作成した。

全体スケジュール

事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
(1)地質環境長期変動モデルの開発 ①統合数値モデル化、モデル検証及び不確実性の評価 ②地形・地質モデル ③地表環境モデル ④水理モデル ⑤地球化学モデル	事前検討、FEPによる整理	長期変遷シナリオの整備、条件設定、統計処理法の提示等	作業フローの提示	統合数値モデル&可視化技術の提示、モデルの検証&不確実性の評価	
(2)革新的要素技術の開発 ①後背地推定技術 ②炭酸塩鉱物測定技術 ③施設変動予測技術 ④地下水涵養量推定技術	装置整備			モデルへの反映	科学的知見の蓄積

c. 要素技術③：処分システム評価確証技術開発

全体実施概要

- ・高レベル放射性廃棄物の処分施設周辺（ニアフィールド）におけるシステム変遷と核種移行を評価するための技術及び巨大地震・断層活動を例とした過酷事象の地層処分システムへの影響に関する評価確証技術を開発する。

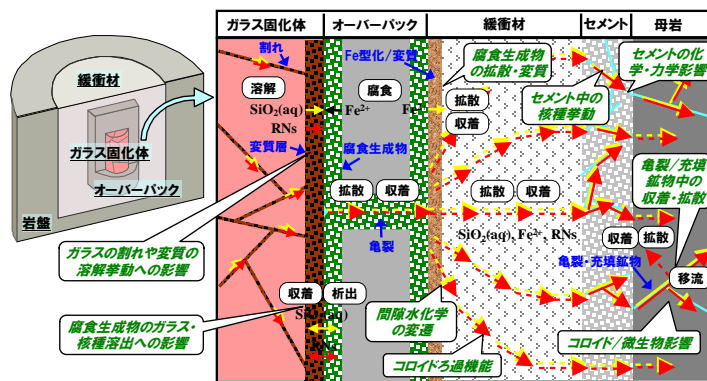


図1 ニアフィールドにおいて時間的変遷に伴い発生する現象（図中吹き出し）と核種の移行経路（図中矢印）の概念図

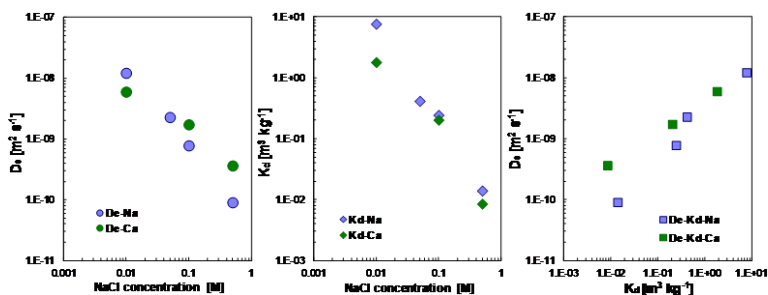


図2 圧縮モンモリロナイト中のSrの核種移行データ（収着分配係数Kd,実効拡散係数De）の塩濃度依存性

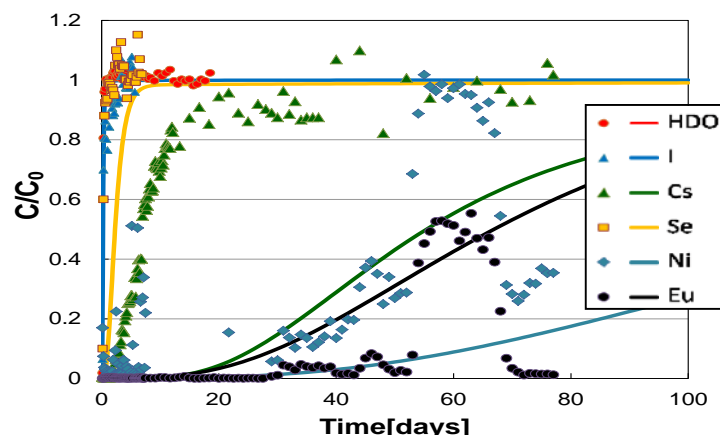


図3 花崗岩割れ目中の通液試験の結果(図中プロット)と解析結果(図中実線)の比較

### 平成 27 年度までの主な成果

- ・ニアフィールドにおいて発生する様々なシステム変遷とその核種移行挙動に及ぼす影響を評価するうえで重要となる課題を、様々な複合現象や不確実性要因等を考慮して抽出し(図 1)、以下に示すような成果例を得た。
- ・人工バリア中の核種移行評価技術開発では、緩衝材候補材料である圧縮ベントナイトの核種移行データをモンモリロナイトのイオン型(Na 型と Ca 型)や液相の塩濃度を変化させて取得し、塩濃度の増加に伴い、実効拡散係数と収着分配係数のいずれも減少する傾向を確認した(図 2)。実効拡散係数が小さくなると核種の移行が遅延されるが、収着分配係数が小さくなると核種の移行が促進される。このような知見の拡充を通じ、システム変遷と核種移行を評価する上でより正確な核種移行パラメータ設定が可能となった。
- ・天然バリア中の核種移行評価技術開発では、スイスグリムゼルの花崗岩を対象に収着性の異なる複数の元素を用いた割れ目中の通液試験を行った結果、現状の評価モデルによる解析では核種の収着性を大きく見積もっていることが明らかになったため(図 3)、評価モデルの精緻化に向けた取り組みを進めている。
- ・過酷事象の影響については、断層が処分施設に直撃した際の健全性を評価する手法の開発を行った結果、断層のずれが廃棄体を直撃した場合においても、周辺岩盤がオーバーパックに接触しないかぎり、オーバーパックの破損につながらないことが分かった。

### 全体スケジュール

	H25	H26	H27	H28	H29
ニアフィールドのシステム変遷と核種移行を評価するための先端的技術の開発			中間評価 ワークショップ 現象理解を反映したより精緻なモデル開発	原位置等での評価確認/複合現象・核種移行の体系的評価	
過酷事象の地層処分システムへの影響に関する評価確認技術開発		概念構築・シナリオ構築		改良・高度化	

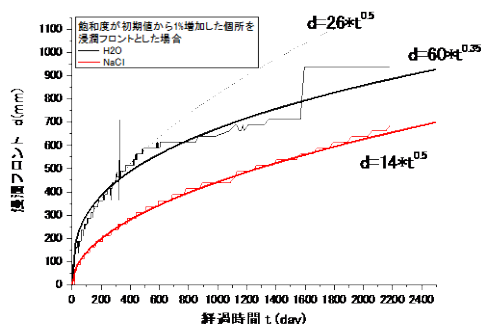
#### d. 要素技術④：処分システム工学確証技術開発

##### 全体実施概要

- 地下環境を考慮してオーバーパック及び緩衝材の品質や健全性が確保されていることを判断するための指標の提示に向けた検討を行うことにより、それらの製作・施工技術に対する信頼性を向上させる。また、品質や健全性を確認するためのモニタリング技術について地下研究施設での適用性確認等を行う。さらに、処分場操業期間中の自然災害に対する安全対策を提示する。



溶接部腐食試験装置の設置作業



緩衝材中の浸潤フロントの進展



地下施設で実証中の地中無線装置

##### 平成 27 年度までの主な成果

- 地下研究施設でのオーバーパック溶接部腐食試験を開始し、腐食速度などを測定した。また、超音波探傷法のデータ処理方法に全波形収録開口合成法を適用することで溶接部の欠陥寸法及び位置の測定精度が向上することを解析により確認した。
- 緩衝材の再冠水過程を対象として浸潤、膨潤、流出などに関する試験データを取得し、浸潤速度に関する相関式などを提示した。また、地下研究施設での緩衝材流出試験を実施し、湧水条件によっては緩衝材と孔壁の間に水みちが形成され、緩衝材の流出が発生することが確認された。
- 遠心模型試験により、人工バリアと周辺岩盤挙動に関する 100 年間相当のデータを取得した。また、材料試験から得られた構成材料の物性値を用いた感度解析結果から、緩衝材の剛性等が長期的な変形挙動に及ぼす影響を定量化した。
- 国際共同研究に参画し、今後のわが国の性能確認プログラム（モニタリングや施工管理等を組み合わせた包括的なプログラム）としての全体枠組みの構築に資する技術情報を整備した。ま

た、国際共同研究でも重要技術とされている無線通信及び無線給電技術について、前者は地下施設での実用性の確認、後者は伝送効率等を確認し、それらの成果を国際共同研究にフィードバックした。

- ・自然災害に起因する火災に着目して、地下及び地上施設を対象とした解析を実施し、放射性物質の環境への放リスクの検証を行った。

### 全体スケジュール

事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
1.人工バリア品質／健全性評価手法の構築－オーバーバック	試験孔掘削、試験装置製作		地下研での溶接部腐食試験の実施	強度評価および欠陥評価	
2.人工バリア品質／健全性評価手法の構築－緩衝材	試験孔掘削	地下研での緩衝材流出試験の実施		再冠水時を対象としたデータ取得	
3.人工バリアと周辺岩盤の長期挙動評価手法の構築			遠心模型試験による長期挙動データ取得	要素試験および長期挙動予測解析の実施	
4.モニタリング関連技術の整備	モニタリングプログラムの全体枠組みの構築に資する情報収集				
	無線通信技術の実証および実用化の見直し確認				
5.自然災害に対する操業期間中の安全対策に関する基盤技術の開発	作業員の安全確保対策の提示		人工バリアへの火災影響の評価		

### e. 要素技術⑤：海域地質環境調査確証技術開発

#### 全体実施概要

- ・沿岸域深部の地質・地下水環境を高精度に把握する手法の確立を目的とし、その一例として富士川河口において物理探査と大深度ボーリングを実施する。物理探査の実施に当たっては、交通網などのノイズや断層の影響等を事前にシミュレーションする手法を用いる。また、地下水調査においては、沿岸域の地下水流動を三次元的に把握することを目的として、沿岸域でボーリング調査を実施する。

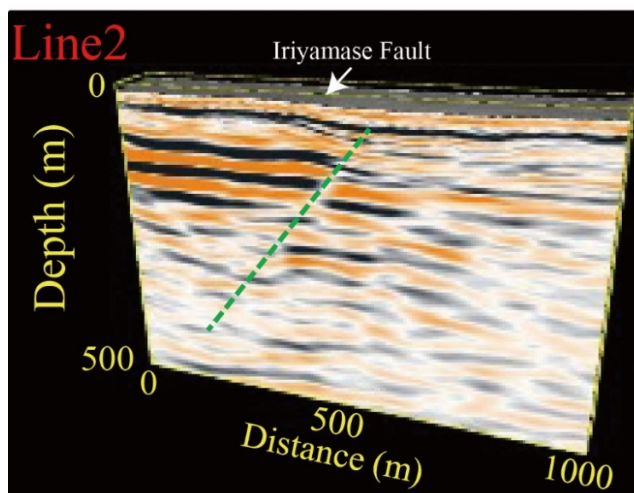


図1 富士川河口における三次元反射法解析の結果（緑は入山瀬断層の位置）

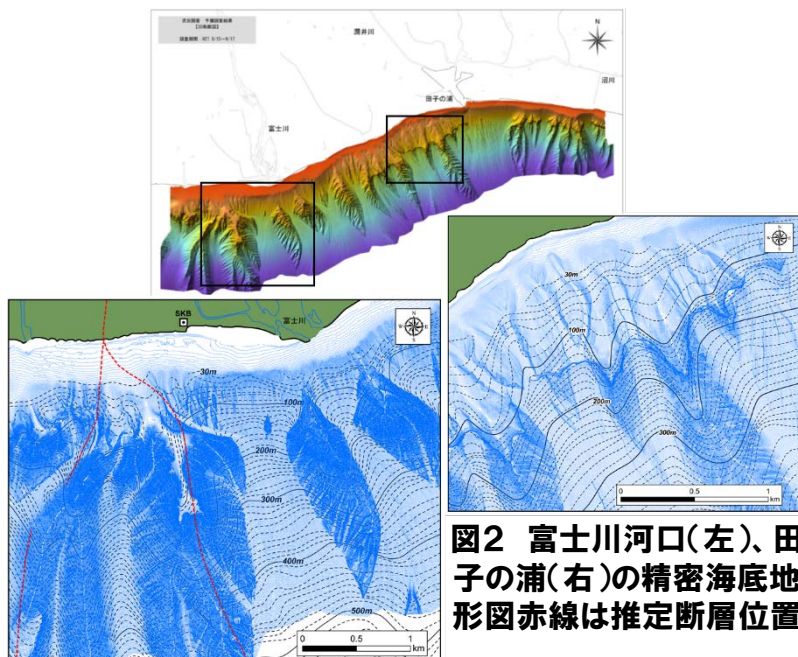


図2 富士川河口(左)、田子の浦(右)の精密海底地形図赤線は推定断層位置

平成 27 年度までの主な成果

- 沿岸部における地層処分技術の信頼性向上のため、必要な技術を抽出して沿岸部の特性を高精度に把握できるように調査技術の体系化を行った。
- ・事前シミュレーションの実施により、最も適切な物理探査方法を選択し、センサーを最適な位置に配置して探査することで、断層を含む地質構造を高精度に把握する手法を開発した(図1)。
- ・本研究により開発された海域微地形探査により、海底湧出地下水を発見し、地下水を採取・分析した。さらに物理探査の結果と統合して断層位置を特定した。これと沿岸域に掘削した観測井から得た高品質試料の分析により、沿岸域の陸域から海域に流れる地下水の起源や滞留時間が推定可能となった。沿岸域の地下水は深度ごとに層状である水理構造を把握する手法が確認できた。海域微地形探査においては、図2に示すように2mメッシュでの高精度な海底微地形の把握手法を開発した。

全体スケジュール

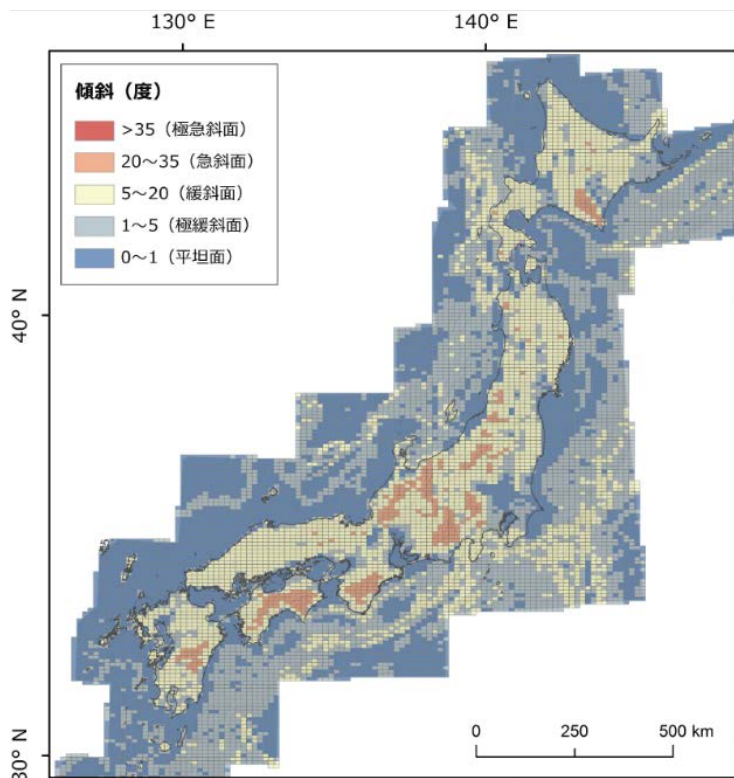
海城地質環境調査確認技術開発	H23	H24	H25	H26	H27
沿岸域地質構造評価技術の開発		既存資料の再解析	弾性波探査	総合解析	
海上掘削調査技術の開発		全国各地解析 沿岸域調査技術レビュー	海底湧出地下水調査	掘削調査 総合解析	



## f. 要素技術⑥：沿岸部処分システム高度化開発

### 全体実施概要

- ・沿岸部における自然現象に関する地質学的調査・分析等、地下水の長期安定性を把握するためのボーリング調査・解析等、塩水環境での人工バリア材料の特性変化を把握するための室内試験等、核種移行・生活圏評価に係るモデル及びパラメータの整備等を行うため文献調査を行う。



日本列島と周辺海域の傾斜区分図

本事業において作成。

陸地では緩斜面が広く分布するが、海底では平坦面から極緩斜面が広く分布する。日本列島周辺における大陸棚の勾配は直線的であり、平均5～7‰である。

### 平成27年度までの主な成果

- 沿岸部に関連するこれまでの地層処分研究開発成果に基づいて、文献調査により沿岸部の特性を整理するとともに課題を抽出・整理した。
- ・沿岸部における地質環境について、氷期の下刻量を把握するうえで沿岸海底下の勾配が大きく影響することが明らかになった。そこで、海陸数値標高モデルから傾斜区分図を作成して海水準の低下によって海底下から陸化する地形の特徴を示した（右図）。
- ・今後3年間の調査で取得する必要性のある主な項目を以下のように抽出した。
- ・地質環境の調査技術：沿岸部海域における隆起・侵食の評価手法の開発、沿岸部地下水の長期安定性の評価のための現在/氷期の降水、現海水/化石海水の識別等
- ・工学技術：人工バリア材料等の劣化・変質に係る塩水系地下水の化学的影響等

- ・安全評価技術：淡水系地下水/海水系地下水の分布やその時間変化等、沿岸部における安全評価に適切に考慮するための評価手法の改良や評価事例の蓄積等

全体スケジュール

沿岸部処分システム高度化開発	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
(1) 沿岸部における地質環境の調査技術の高度化開発	文献調査・課題整理	現地調査、評価手法の開発、地質環境のモデル化、事例の蓄積		
(2) 沿岸部における工芸技術の高度化開発	文献調査・課題整理	人工バリア材料等に関する劣化や変質に関する現象の把握、塩水環境下ニアフィールド領域での処分システムの設計手法等の提示		
(3) 沿岸部における安全評価技術の高度化開発	文献調査・課題整理	FEP整備、評価モデルの更新、パラメータ設定手法の検討・整備、影響評価・不確実性評価		

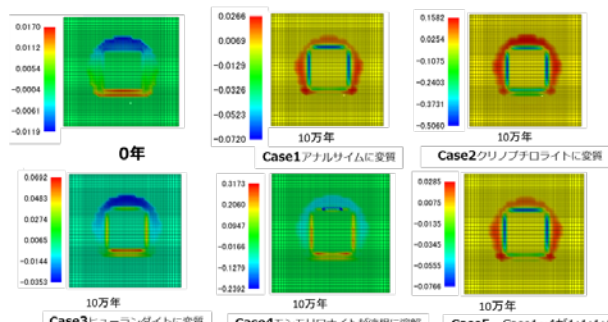
g. 要素技術⑦：TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発

全体実施概要

- ・TRU 廃棄物の地層処分において、高い影響を与えるヨウ素 129 を長期間にわたり閉じこめる固化体（アルミナ固化体、BPI ガラス固化体、セメント固化体）を開発し、その影響を低減する。
- ・放射化金属廃棄物の腐食にともなって放出される炭素 14 が高い影響を及ぼすため、ハル及びエンドピースの材質であるジルカロイ及びステンレス鋼の腐食過程をモデル化し、これまでの保守的な仮定に基づく評価結果と比較し、影響度合いを確認する。
- ・処分場の性能の低下の原因として考えられる、セメント系材料からのアルカリ影響による緩衝材の変質について、同様の天然事象(ナチュラルアナログ)を用いてその影響の程度を把握する目的で、現在も高アルカリ地下水がベントナイト質の粘土層に影響している場所 (NA サイト) を特定するとともに、アルカリ影響に関するデータを取得し、上記性能の変化が予測の範囲内であることを示す。
- ・セメント系材料（想定される量が多いことから、広く一般産業で利用実績のある、普通セメントおよび JIS 規格に規定された混合セメント）と緩衝材との反応を主とした長期的な処分施設の化学的変遷やガスの移行に関する予測のためのデータの拡充および評価方法の高度化により、影響予測の信頼性を向上させる。また、セメント系材料の熱変質温度や、施工時の部材寸法等に関するデータを取得し、処分場の状態変遷予測のために重要な処分施設の初期の状態を設定する。



パラワン島のNAサイトでの粘土層のトレンチ調査



改良した水理-力学-化学連成解析によって予測した10万年後の処分場内の応力分布(化学変質による生成二次鉱物の違いによる応力分布の差(赤は圧縮状態(高密度)を示す))。

平成 27 年度までの主な成果

- ・ヨウ素 129 固化体の溶出試験や固化方法の改良から、アルミナ固化体の空隙率の低減、BPI ガラス固化体のヨウ素浸出挙動への地下水中の溶存イオン種の影響、セメント固化体中のヨウ素固定鉱物層を確認し、ヨウ素 129 の放出を抑制できることを確認した。
- ・炭素 14 に関しては、燃料被覆管の材料であるジルカロイの長期腐食試験およびエンドピースの材料であるステンレス鋼の短期腐食試験の結果、酸化膜の成長により腐食速度が次第に遅くなることが明らかになった。
- ・フィリピンのパラワン島で高アルカリ地下水がベントナイトと類似の粘土層に影響している、ナチュラルアナログ (NA) サイトとしてふさわしい場所を選定した。今後、人工バリアの長期性能に係る地球化学モデルの検証・改良を可能とすることを目的として、現地調査 (サンプリング)、鉱物化学分析によりアルカリ環境下での変質プロセスと時間スケールを明らかにする。
- ・セメント系材料から供給されるアルカリにより、緩衝材中の鉱物の溶解や 2 次鉱物の沈殿等に伴う密度分布のばらつきが生じることが明らかとなっているが、この現象が処分場のバリア機能に与える影響の程度は明らかとなっていない。現時点においては密度分布のばらつき発生に係るシミュレーションを行うことができた。
- ・熱変質試験の結果、50℃以上でセメント系材料の結晶化が起きることを確認した。
- ・ガス圧の上昇に伴う地下水の押し出しやガスの透過は、緩衝材の物理的な破断に影響を及ぼし、放射線量のピークに悪い影響を及ぼす。そのため、ガス移行試験及び力学試験を行い、ガスの移行経路や毛細管圧力等のデータを取得し、再現解析を行った結果、緩衝材が物理的に破断する可能性を示す条件が明らかとなった。

全体スケジュール

事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
①ヨウ素129対策技術の信頼性向上			ヨウ素固化体の性能評価 技術選定の検討・準備		
②炭素14長期放出挙動評価			ジルカロイおよびステンレス鋼の長期腐食モデルの検討 炭素14の化学形態の調査		
③ナチュラルアナログ調査			NAサイトの探査 アルカリ環境下のベントナイトの長期密着プロセスの評価 NAによる地球化学モデルの検証・改良		
④人工バリア材料長期挙動評価・人工バリア評価の初期条件の設定			化学・力学連成解析のためのモデルの信頼性向上および確認試験 熱影響等の初期値への影響に関する検討		初期条件の設定の検討
⑤ガス移行連成挙動評価手法の開発			ガス移行評価ナリオの拡充 ガス移行連成挙動モデルの高度化 人工バリアシステムのガス移行連成挙動評価		

**h. 要素技術⑧：セメント材料影響評価技術高度化開発**

全体実施概要

- ・緩衝材や周辺岩盤へのアルカリ影響を低減させるために新しく開発された低アルカリ性セメント(フライアッシュ高含有シリカフェームセメント:High-volume Fly ash Silica fume Cement, HFSC)について、セメント材料の長期挙動と、セメントが他のバリア材料に与える影響に関する個別現象毎のモデル開発を行うとともに、これらのモデルを連成させることにより、個別現象が相互に影響を与えながら変化する核種移行の場を評価するための複合現象評価モデルを開発する。
- ・また、評価された場を核種移行経路として表現し、核種移行解析を行う技術の開発を行う。

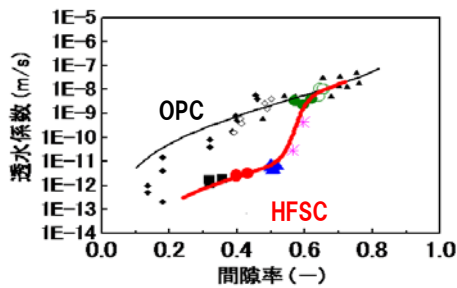


図1 個別現象評価モデルの開発の成果の例 (セメント系材料の物質輸送特性(透水係数))

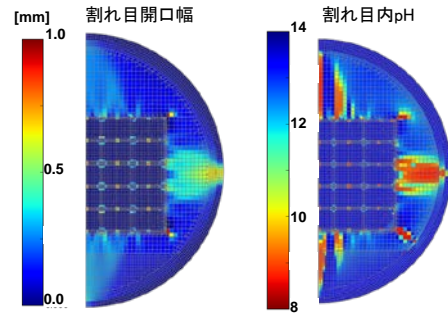


図2 複合現象評価モデルを用いた解析例 (TRU廃棄物処分坑道断面におけるセメント埋め戻し材中の、8、00年経過時の(a)割れ目開口幅及び(b)割れ目内間隙水のpH)

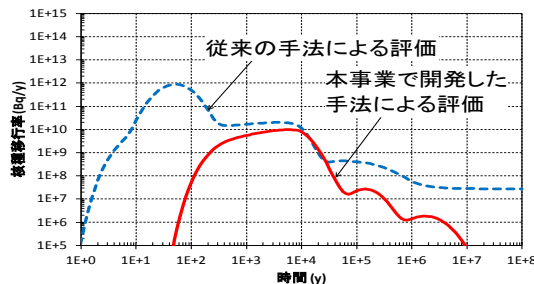


図3 本事業で開発した手法による核種移行解析結果の例 (処分施設からの核種の移行率)

### 平成26年度までの主な成果

- セメント材料の長期影響について、化学的挙動と物質輸送特性の変化及びこれらの連成挙動を表現するためのモデル開発を行い、実験結果との比較により、当該モデルの妥当性を確認した。これにより、HFSCの場合は、普通セメント(OPC)と比較して、水と接触した場合の接触液のpHが低く抑えられること及びセメントの間隙率が0.52以下の範囲ではHFSCとOPCの間隙率が同様であっても透水係数が低く抑えられることがわかった(図1)。
- 化学的挙動と物質輸送特性の変化に加え、力学に係る個別現象が相互に影響しながら核種移行の場を変化させる様子进行评估する複合現象評価モデルと、これにより評価された2次元の時間的・空間的変化を伴う場(図2)における核種移行挙動を解析する手法を開発した(図3)。これによりセメント材料の止水性を砂並みに設定した従来の手法より、セメント材料の透水係数と間隙率との関係を反映し、現実に近い条件で核種移行を評価できる見通しを得た。

### 全体スケジュール

事業項目	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度
1. 個別現象評価モデル開発 / 基礎的データ整備		個別モデル開発 / 基礎的データ整備		補完的モデル改良・データ取得
① 評価モデル・データの体系化手法の開発	調査・計画策定		詳細に応じて見直し	
② セメント実質評価モデルの開発		データ取得・現象理解・モデル開発		補完的モデル改良・データ取得及びデータベータ化
③ 遮断材/岩石実質評価モデル開発				
④ バリア材料の劣化に伴う力学評価モデル開発				
⑤ 地球化学元素に関するアルカリ条件での熱力学 / 速度論データの整備	溶解化学種及び鉱物に関する熱力学データの整備 / 鉱物の溶解・沈殿反応速度データの整備		データの体系的整備	
⑥ 放射性同位元素に関するアルカリ条件での核種移行特性データ取得及びモデル整備		放射性核種の移行現象に関するデータ取得 / 体形成・溶解沈殿・収着・マトリックス形成データの整備	モデル・データ(補完的)の整備	
2. 複合現象評価手法開発		評価フレーム・ツール開発	パラメータ整備	連成・補完的モデル改良
① 連成解析ツール開発	計算ツール開発(高速化)、現象のパラメータの定式化・フレーム構築		因果関係に基づく個別モデル実装	連成・補完的モデル改良・プロトタイプ完成
3. 性能評価モデル開発		評価システム構築		評価システムのプロトタイプ作成
① 性能評価システム構築		評価システムの構築・複合現象評価を反映した予測的解析	フレーム構築・複合現象解析・システム改良	解析・システム改良・プロトタイプ完成

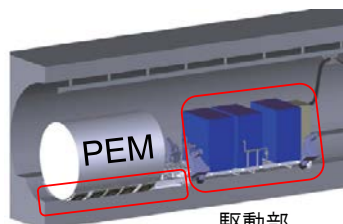
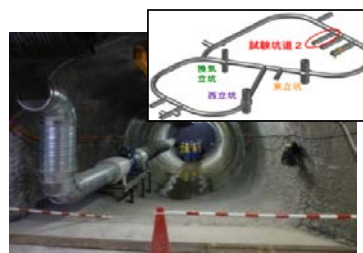
i. 要素技術⑨：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

全体実施概要

- ・可逆性・回収可能性の重要性の高まりや平成27年5月に閣議決定された『特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針』における施設閉鎖までの回収可能性の確保、及び関連する技術課題への調査研究実施に関する規定を踏まえ、社会の関心への対応や施策への信頼感醸成に向けて、回収技術の実現性を示すとともに、示された技術課題に対する検討を着実に進める。
- ・具体的には、実規模レベルで回収技術や設備を整備して、地上及び地下での実証を段階的に進め、回収の技術的実現性を示すとともに、技術課題として示された回収可能性を維持できる期間に関する検討を進める。これらの取組を進めることで、国民の地層処分事業に関する信頼感の醸成に資する。



地上での回収技術の実証試験



エアベアリング 駆動部  
地下環境での回収技術の高度化開発

平成27年度までの主な成果

- 地上での回収技術の実証試験： 処分孔縦置き定置方式に対して、回収における中核技術である緩衝材除去技術を周辺装置と組み合わせたシステムとして整備し、実規模大の実証試験（緩衝材除去試験）を地上で実施することで、技術的な実現可能性を確認した。
- 地下での実証試験に向けた回収技術の高度化開発： 定置方式や搬送定置オプション、およびこれまでの基盤研究で実施した操業に係る工学技術の成果を踏まえ、地下環境での実証試験計画を策定し、地下実証試験サイトの選定、実証試験装置の設計・製作に着手した。

全体スケジュール

項目	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
全体計画	策定	更新			策定	更新			
緩衝材除去システムの整備	計画検討	設計・製作	機能確認		計画検討	試験設備	設計・製作		
地下／地上施設での実証試験			緩衝材除去試験 地上施設		計画検討		地下施設	搬送定置・回収試験	
回収可能性の維持についての検討					計画検討	工学的技術等の検討と整理、影響評価			
地層処分実規模試験施設の活用									

取りまとめ ▲

取りまとめ △

## j. 要素技術⑩：直接処分等代替処分技術開発

### 全体実施概要

○我が国における使用済燃料の直接処分及び代替処分オプションの検討のために以下の技術的基盤を整備する。

- ・ 先進的な材料の開発及び閉じ込め性能評価手法の高度化
- ・ 直接処分施設の設計検討
- ・ 直接処分以外の代替処分オプションについての調査・検討

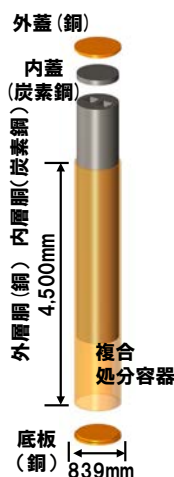


図1 直接処分容器の例

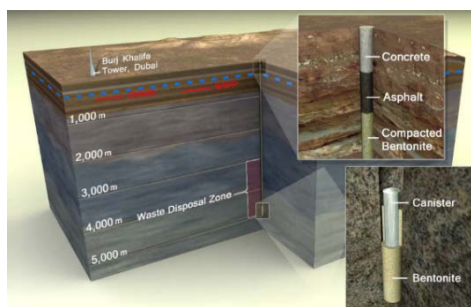


図2 超深孔処分の検討例（米国）

### 平成27年度までの主な成果

- ・ 直接処分での総線量の最大値は、半減期が約5700年と長いC-14が支配的となり、ガラス固化体よりも2桁程度大きくなるため、処分容器寿命の長期化が課題になる。こうした中、超長期の耐久性が期待できる処分容器の新材料候補としてバルク金属ガラスに着目し、物理化学的性質の比較や溶射試験による溶射膜の形成状況の確認等により、Ni基合金等が有望な候補となることが示唆された。
- ・ 処分容器（図1）について、設計に係わる一連の解析（臨界解析・遮へい解析・構造解析等）を使用済燃料に特有の条件（核種量、寸法、重量等）に適用し、我が国のPWRとBWRを対象とした処分容器の寸法や燃料集合体の収容本数を設定することができた。
- ・ 緩衝材について、使用済燃料の処分容器の大きさや重さはガラス固化体の場合と大きく異なるものの、緩衝材の厚さや密度等の仕様はガラス固化体の場合と同様とできることを、岩盤割れ・変形・廃棄体自重沈下・処分容器腐食膨張変形等の複合解析により確認した。
- ・ 代替処分オプションとして米国等で具体的な検討が行われている超深孔処分の概念（図2）を調査し、今後の我が国への適用の検討において着目する課題として、地質環境条件（応力、水理）や地震活動による掘削や定置への影響の可能性等を抽出した。

## 全体スケジュール

直接処分等 代替技術開発 事業項目	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
(1) 直接処分システムの閉じ込め性能を向上させる先進的な材料の開発および閉じ込め性能評価手法の高度化		処分容器新材料に関する候補材料の提示・適用性の概略評価 緩衝材、埋め戻し材の新材料に関する調査と適用性の概略評価	選定した新材料の基本特性分析・評価、適用性の詳細検討		事業成果の取りまとめ
(2) 直接処分施設の設計検討		直接処分方策(保排措置、核セキュリティ対策、回収可能性、モニタリング等)に関する調査・検討 わが国の環境条件に対応した直接処分施設の検討・整理 処分容器の設計(代表的PWR・BWR燃料、炭素鋼・複合容器) 処分容器の設計(燃料の多様性考慮) 臨界安全性の検討と反映 緩衝材設計(代表的定置方式) / 設計のための基礎データの測定、取得データに基づく緩衝材設計			事業成果の取りまとめ
(3) 直接処分施設の設計支援システムの構築		設計支援システムの設計	設計支援システムのプロトタイプ構築 設計支援システムを用いた初期設計モデルの試作		事業成果の取りまとめ
(4) その他の代替処分オプションについての調査・検討			調査研究計画の検討	海外事例の調査 わが国に対する適用性の評価	事業成果の取りまとめ

### (3) 当局が実施することの必要性

原子力発電に伴って必然的に生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。さらには、地層処分や余裕深度処分において特段に求められる安全確保の長期性と処分事業の長期性を踏まえれば、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための基盤を整備していくことが重要。

#### 【参考：国の政策での位置づけ】

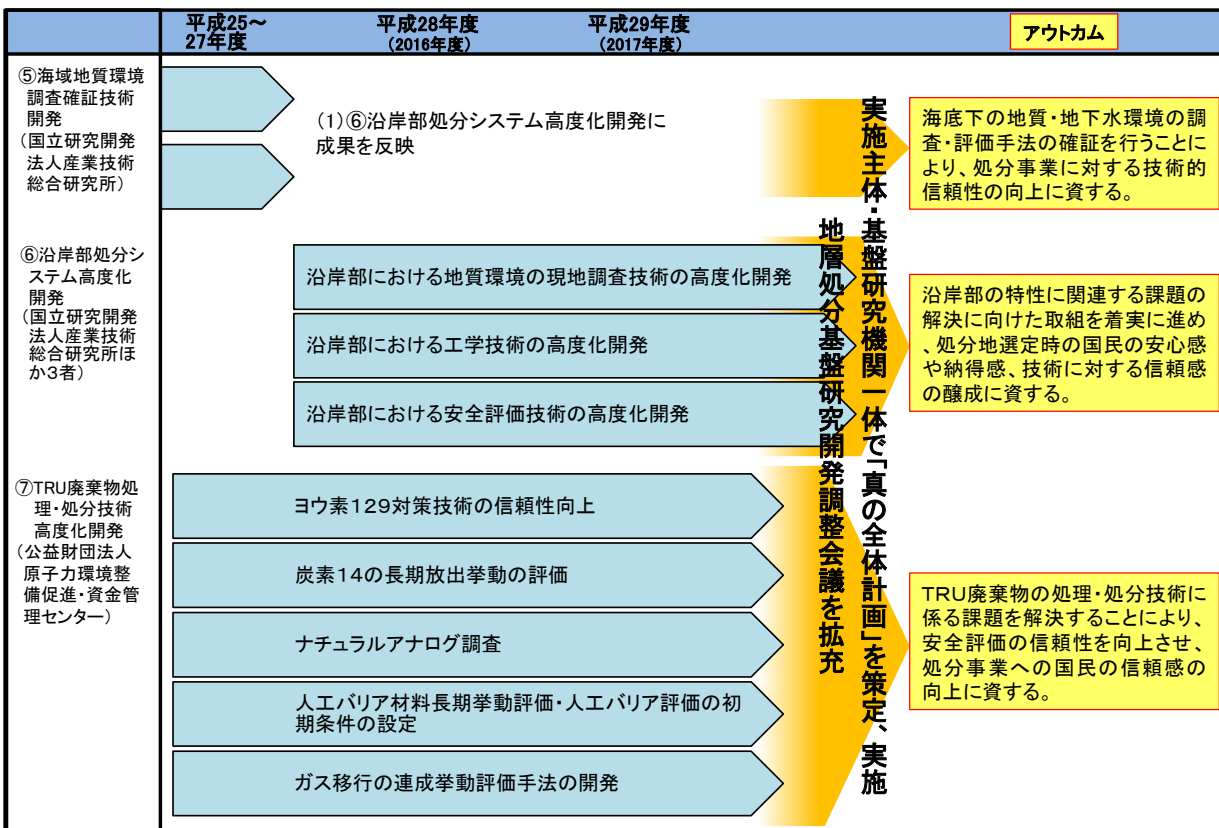
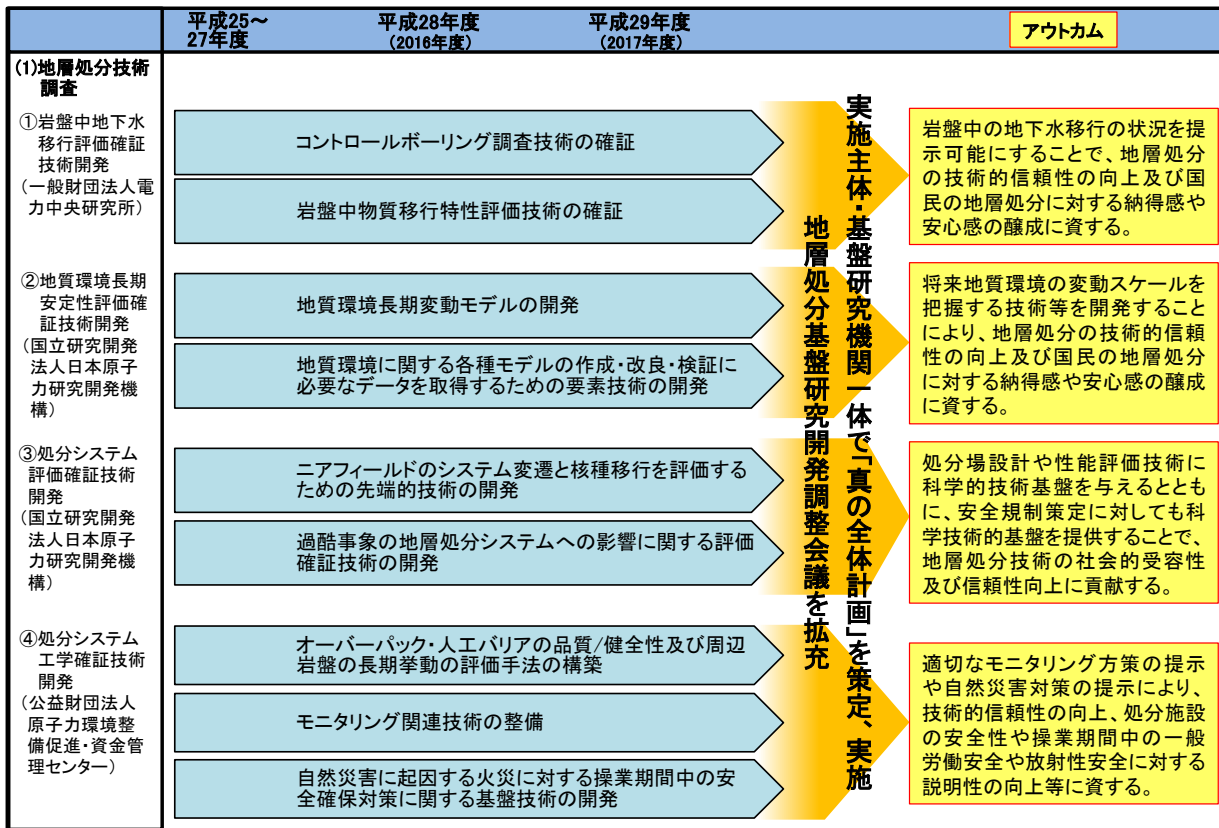
##### ○エネルギー基本計画（平成26年4月11日閣議決定）

- ・地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。あわせて、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。
- ・廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、(中略) 処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進する。

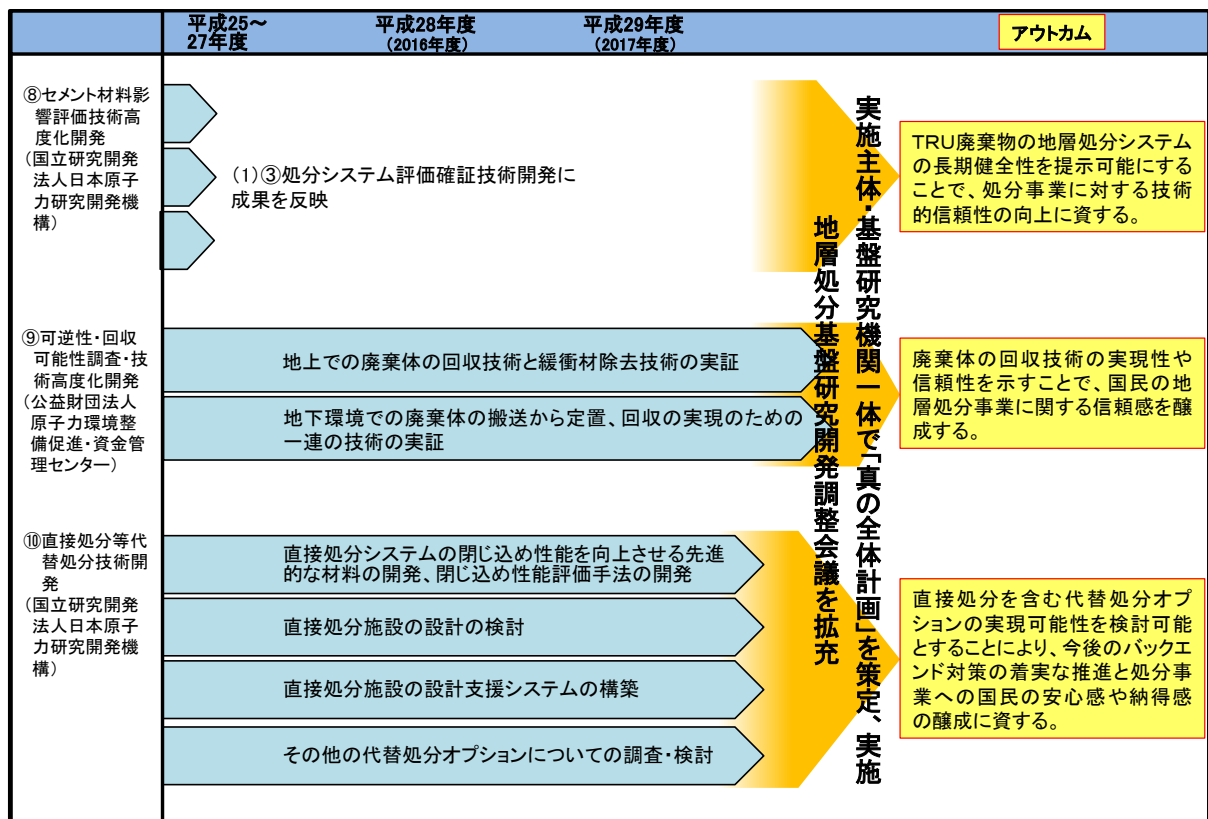
##### ○特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月22日閣議決定）

- ・国、原子力発電環境整備機構及び関係研究機関は、連携及び協力を行いつつ、最終処分の技術的信頼性等の定期的な評価を行うことを通じ、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に当該技術開発等を進めるものとする。

#### (4) 事業アウトカムに至るまでのロードマップ







### (5) 研究開発の実施・マネジメント体制等

要素技術ごとに下記のとおり委員会を設置している。

- ①岩盤中地下水移行評価確証技術開発委員会（主査：岡山大学 西垣 誠名誉教授）
- ②地質環境長期安定性評価確証技術開発委員会（主査：首都大学東京 山崎晴雄名誉教授）
- ③処分システム評価確証技術開発委員会（主査：原子力安全研究協会 朽山 修技術顧問）
- ④処分システム工学確証技術検討委員会（主査：東北大学 新堀雄一教授）
- ⑤海域地質環境調査確証技術開発運営評価委員会（主査：東京大学 登坂博行教授）
- ⑦TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発検討委員会（主査：東海大学 大江俊昭教授）
- ⑧セメント材料影響評価技術高度化開発委員会（主査：北海道大学 佐藤 努教授）
- ⑨回収可能性調査・技術高度化委員会（主査：北海道大学 佐藤正知名誉教授）
- ⑩直接処分等代替処分技術開発委員会（主査：関西大学 大西有三特任教授）

ただし、⑥沿岸部処分システム高度化開発については平成27年12月から開始した事業（実質的な評価期間）であるため、外部専門家による委員会は開催していない

## (6) 費用対効果

本プロジェクトでは、平成25年度から27年度で97.9億円の国費を投資した。予算執行額と外部発表数は以下のとおり。

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	総額
地層処分技術調査	31.1	33.7	33.2	97.9

### 外部発表件数

	予算額(億円) (平成25年度 ~27年度)	論文	学会発表	特許等 (出願含む)	講演・ 著書等
(1)地層処分技術調査	97.9	53	224	10	12
①岩盤中地下水移行評価確証技術開発	13.1	7	41	9	1
②地質環境長期安定性評価確証技術開発	6.6	1	17	0	0
③処分システム評価確証技術開発	14.2	8	42	0	0
④処分システム工学確証技術開発	16.0	1	26	0	5
⑤海域地質環境調査確証技術開発	13.0	13	25	1	4
⑥沿岸部処分システム高度化開発	0.3	1	5	0	1
⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発	13.9	16	49	0	0
⑧セメント材料影響評価技術高度化開発	2.1	2	3	0	0
⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 (地層処分回収技術高度化開発を含む)	10.6	0	4	0	0
⑩直接処分等代替処分技術開発 (使用済燃料直接処分技術開発を含む)	8.4	4	12	0	1

## 2-1-2 外部有識者（評価検討会）の評価

### (1) 総合評価

平成40年代後半の処分実施を見据えた必要な技術開発がバランスよく配置された構造であり、設定された目標へのアウトプットはおおむね妥当と評価できる。具体的には、地質環境特性の把握、処分システムの評価、海域における影響、TRU廃棄物処分などの効果的な処分方法、さらに可逆性回収可能性技術や代替処分等の将来に有用となる技術や柔軟性を持たせる点までをプログラムに加えている点は、必要なプログラム設計が的確になされているものと評価できる。また、数多くの研究課題を10項目の個別の事業に明確に分類し、個々では多くの研究成果を上げている点において、研究開発内容は明確かつ妥当であると評価できる。なお、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ、研究開発の実施・マネジメント体制等については、各研究開発の評価委員会での検証もなされており、妥当であると評価できる。加えて、資金配分も全体的にバランスが取られているとともに、重点化されるべきところには重点配分されているなど、費用対効果の面においても妥当であると評価できる。技術的信頼性を確立するという目標を達成する観点では、実施主体と異なる組織が実施する必要がある、国が実施することは極めて必要性が高いと考える。

一方で、国は放射性廃棄物処分に係る問題の解決に主体的に関わっていくが、経済産業省、文部科学省および環境省がそれぞれ所管する実施機関の役割分担が国民からは見えにくく、国民の納得感や安心感を得られにくい原因となっているかもしれない。したがって、放射性廃棄物処分の研究開発を国が主体となって実施することの意義、現状と課題を国民に分かりやすく、継続的に情報発信することが必要である。また、技術的信頼性の向上が必ずしも国民の安心感の醸成と一致しない場合があることから、国民理解の醸成として、わかりやすい情報提供や、国際的な議論の経緯や諸外国の経験を含めた基本的な考え方の共有が今後の取り組みとして求められる。アウトカムについては、指標を明確に示すことで直近のアウトカムを明示的に生じさせることにより、「地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する」という目標に到達する図式を示すことが必要であろう。なお、波及効果については、いくつかの研究開発の成果は放射性廃棄物処分野以外についても波及されることが示されており、これらのアウトカム効果のアピールを強化し、より費用対効果の向上を目指す努力が必要であろう。

#### 【肯定的所見】

- ・平成40年代後半の処分実施を見据えて、必要な技術開発がバランス良く配置された構造となっている。(B委員)
- ・設定された目標へのアウトプットは、おおむね妥当である。(A委員)
- ・アウトカムは、どの個別研究開発も要約すれば技術的信頼性と安心感の醸成という表現になっているので、もう少し具体的な表現を入れれば、おおむね妥当と評価できる。(A委員)
- ・地質環境特性の把握、処分システムの評価、海域における影響、TRU廃棄物処分などの効果的な処分方法、さらに可逆性回収可能技術や直接処分等代替処分等の将来に有用となる技術や柔軟性を持たせる点までをプログラムに加えていることは、このような超長期のプログラムには必要でプログラム設計が的確になされているものである。(B委員)
- ・数多くの研究課題を10個という多数のプログラムに明確に分類し、個々のプログラムでは多

くの研究成果を上げており、研究開発内容は明確かつ妥当であると思います。(E委員)

- ・①岩盤中地下水移行評価確証技術開発、②地質環境長期安定性評価確証技術開発、③処分システム評価確証技術開発、④処分システム工学確証技術開発、⑤海域地質環境調査確証技術開発、⑥沿岸部処分システム高度化開発については、かなりの成果を上げている。ただし、⑥沿岸部処分システム高度化開発についていえば、沿岸部で特段に配慮を要する事項のあぶり出しがさらに必要である。(D委員)
- ・わが国では、高レベル、TRU及び低レベルの放射性廃棄物がすでに多量に発生している現状があるとともに、放射性廃棄物処分の速やかな事業の具体化が求められている。このような現状を鑑みると、原子力廃棄物の処分問題は国が主体となり、長期にわたって継続すべき国策事業であり、このことには国民の認識と合意が得られている。(C委員)
- ・実施主体となる NUMO が実施することも考えられるが、技術的信頼性を確立することを目標とすると妥協することなく実施するために、実施主体と異なる団体が行う必要があり、国が実施する必要がある。(E委員)
- ・高レベルや TRU の放射性廃棄物の地層処分や余裕深度処分は、中・長期の実施計画により厳密に運用される必要があり、これまで短期・中期の研究開発がその実施計画に基づいて段階的かつ継続的に実施されてきている。(C委員)
- ・事業アウトカム達成に至るまでのロードマップについては、技術的課題に関するロードマップは妥当である。(E委員)
- ・資金配分も全体的にバランスが取れているのに加え、重点化されるべきところには重点配分がなされており適切であるといえる。(B委員)
- ・マネジメント体制も個別研究開発毎に外注先も含め適切な体制が選定されるとともに、外部委員会も設けレビュー体制も構築されており、適切である。(B委員)
- ・研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性についてはそれぞれの評価委員会での検証もなされており、きわめて妥当である。(E委員)
- ・費用対効果については、妥当である。(E委員)

#### 【問題点・改善すべき点】

- ・福島での放射性物質汚染やその廃炉の問題にこれまでの研究開発成果を活用し、放射性廃棄物処分に係る全体的な課題の1つとして、その問題解決にも主体的に係っていく必要がある。その一方で、経済産業省と文部科学省、環境省がそれぞれ管轄する実施機関の役割分担が国民からは見えにくい。この課題はいまだ解決されていない。(C委員)
- ・事業アウトカム指標が、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」となっているものが多数あり、技術的信頼性の向上が必ずしも国民の安心感の醸成と一致しないことが考えられる。これは「最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価報告書について (H28.10.6)」で、国民理解の醸成は、わかりやすい情報提供や、国際的な議論の経緯や諸外国の経験を含めた基本的な考え方の共有ということが今後の取り組みとして挙げられており、この方向での改善が必要である。(E委員)
- ・放射性廃棄物処分の研究開発を国が主体となって実施することの意義、現状と課題を国民に分かりやすく、継続的に情報発信することが必要である。(C委員)

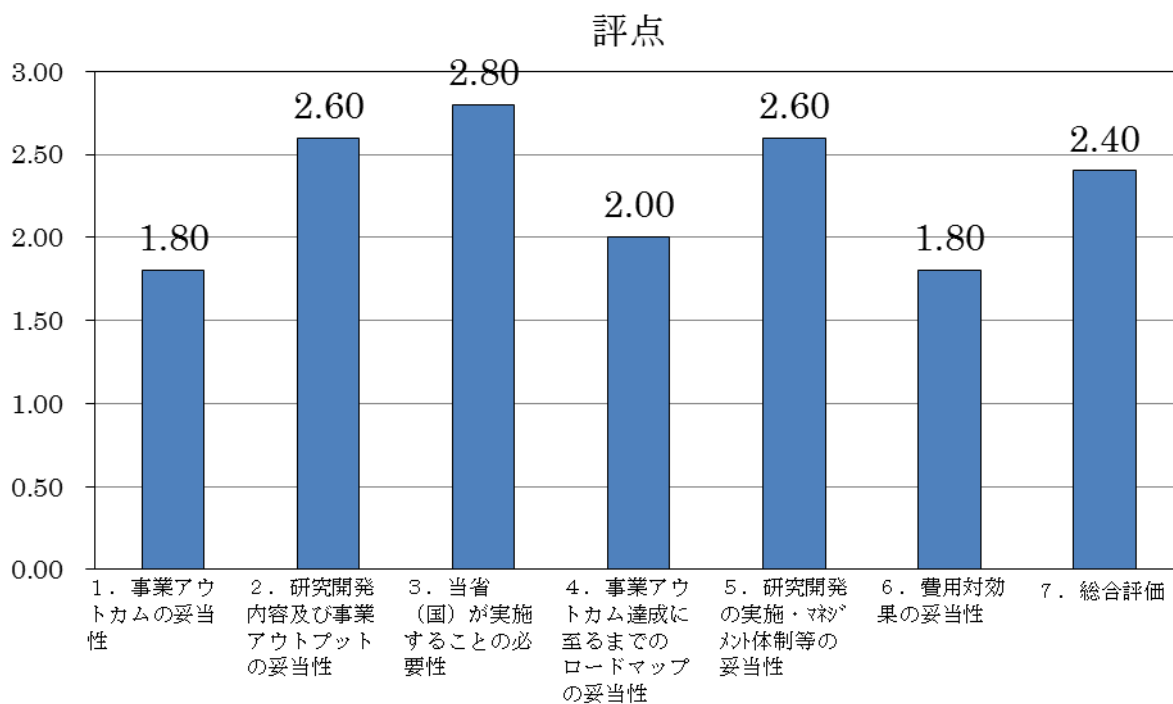
- ・立地選定への機運が高まる中、今の段階の研究開発段階でも地層処分の評価ができるという、実務的な基盤研究の重要性の記述が足りないものが多い。(A委員)
- ・アウトカムへの具体的なアウトプットのクッキングの検討にも留意されることが望まれる。(A委員)
- ・多くのアウトカムに「地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する」と同じような表現になっているが、これだけでは、国民の納得感や安心感にどのようにつながるのか、ロードマップでも示されていないので理解が難しい。アウトカム指標を明確に示し、まず直近のアウトカムをしっかりと生じさせることで上記の目標に到達する図式を示すことが必要である。(B委員)
- ・本プログラムに含まれるいくつかのプロジェクトの波及効果については、放射性廃棄物処分分野以外についても波及されることが示されており、これらのアウトカム効果についてしっかりアピールし、より費用対効果の向上を目指す努力が必要である。定量的効果という点では、それらのほうがより大きく算出される可能性もあるため、今後どのように活用するか国としても検討する必要がある。(B委員)

(2) 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(地層処分技術調査(プロジェクト)(中間時))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	1.80	2	1	2	2	2
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.60	3	3	3	2	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.80	3	3	3	2	3
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	2.00	2	1	3	2	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.60	3	2	3	2	3
6. 費用対効果の妥当性	1.80	2	1	2	2	2
7. 総合評価	2.40	3	2	3	2	2



【評価項目の判定基準】

評価項目1. ~6.

3点: 非常に重要

又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

7. 総合評価

3点: 事業は優れており、

より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続で良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

## 2—2放射線廃棄物共通技術調査

### 2—2—1 研究開発課題（プロジェクト）概要

#### （1）事業アウトカム

・要素技術⑪：放射性核種生物圏移行評価高度化開発

事業アウトプット指標	開発項目（計画）	研究開発成果・達成状況
生物圏移行パラメータに及ぼす気温や微生物活動等の影響評価を行うとともに、その変動を考慮したデータベースを構築する。さらに、これまでほとんどデータが得られていない核種（Pu、Am、Th及びCl等）について、極めて微量であっても計測可能な超高精度分析法を開発し、パラメータ収集を進める。	<p>(1) 気候変動を考慮した環境移行パラメータデータベースを構築する。</p> <p>(2) 放射性炭素の移行パラメータに対する微生物活動の影響を調査する。</p> <p>(3) 重要核種（Pu、Am、Th及びCl等）の超高精度分析により環境移行パラメータを収集する。</p>	<p>【成果】 論文数：59件 学会発表数：116件</p> <p>【達成状況】 (1) 気温変化による土壌－植物間移行係数の変動を考慮するため、気温が異なる地域を対象に土壌－植物間移行係数を取得し、データを拡充した。</p> <p>(2) 微生物による植物への炭素の移行モデルを構築し、その妥当性を解析により検証した。また、微生物活動への温度影響を調査し、土壌からの炭素の放出速度は変化するが、放出総量は変わらないことを明らかにした。</p> <p>(3) これまで計測できなかった微量なPuの高精度質量分析法を確立し、環境移行パラメータを収集した。また、AmとClの超高精度分析法の開発に着手した。</p>
事業アウトカム指標		
生物圏における核種移行プロセスとこれによる被ばく経路について人間への影響を評価可能にすることにより、放射性廃棄物処分技術の信頼性向上に資するとともに、安全評価結果に対する国民の信頼感の醸成に資する。		

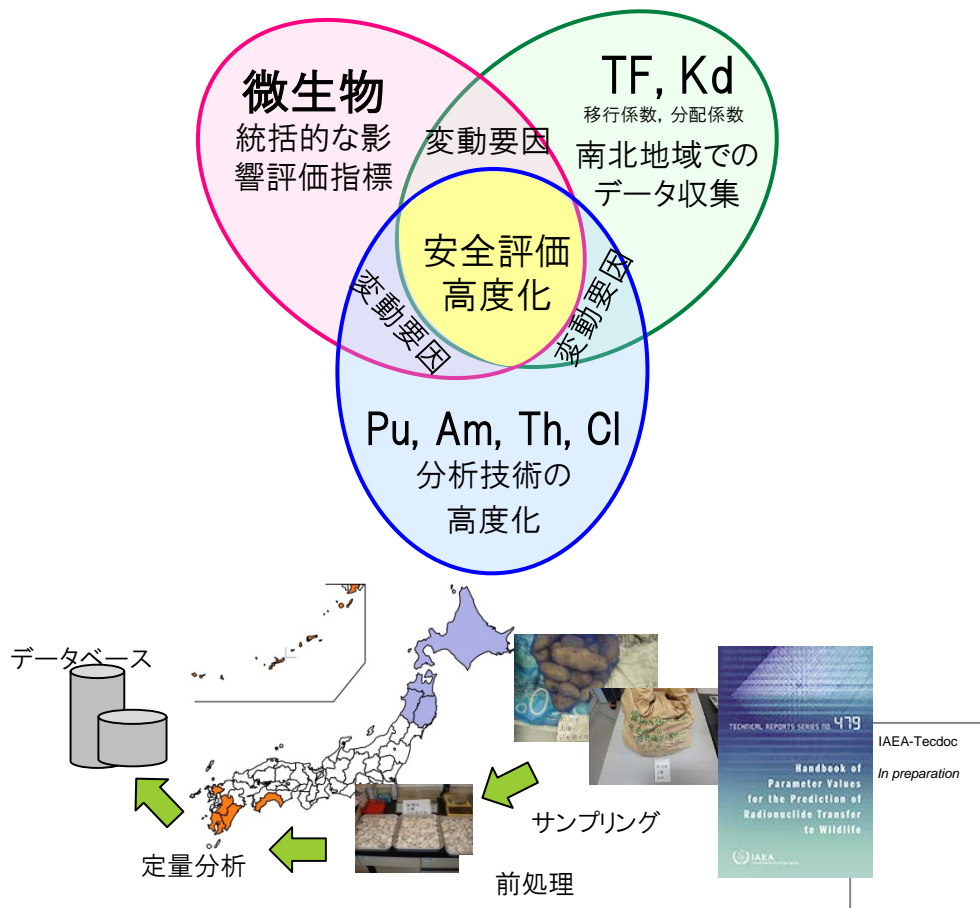
#### （2）研究開発内容及び事業アウトプット

a. 要素技術⑪：放射性核種生物圏移行評価高度化開発

##### 全体実施概要

我が国の生物圏における核種移行評価の高精度化に資するため、以下の調査・研究を行い、我が国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充を行う。

- （1）気候変動を考慮した環境移行パラメータ（TF 及び Kd）データベースの構築
- （2）放射性炭素の移行パラメータに対する微生物活動の影響調査
- （3）重要核種（Pu、Am、Th 及び Cl）の超高精度分析による環境移行パラメータ収集



平成 27 年度までの主な成果

- (1) 文献調査と実測により土壌－植物間移行係数が気温の高低で変動するという相関を考慮するため、実際に気温が相対的に低い地域と高い地域のコメ及びジャガイモの土壌－植物間移行係数を取得し、データを拡充（本事業での採取目標 20 の半分終了）した。
- (2) 水田土壌微生物群集の活動に対する温度の効果として CO<sub>2</sub> 発生速度や発生率を実験的に得ることにより、微生物による水稻への炭素の移行モデルを構築し、その妥当性を解析により検証した。今後、モデルの不確実性解析を実施予定。
- (3) これまで計測できなかった微量な Pu の高精度質量分析法を確立し、環境移行パラメータを収集した。また、Am と Cl の超高精度分析法の開発に着手した。

全体スケジュール

事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
1.気候変動を考慮した環境移行パラメータ(TFおよびKd)データベースの構築	← 移行係数に対する気温の影響調査とデータ収集			→ データベース	
2.放射性炭素の移行パラメータに対する微生物活動の影響調査	← 微生物活動と環境移行パラメータ			→ 微生物活動を反映したモデルの構築	
3.重要核種(Pu, Am, ThおよびCl)の超高精度分析による環境移行パラメータ収集	← 超高精度分析法開発			→ 土壌－農作物の移行パラメータの収集	



### (3) 当省が実施することの必要性

原子力発電に伴って必然的に生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。さらには、地層処分や余裕深度処分において特段に求められる安全確保の長期性と処分手業の長期性を踏まえれば、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための基盤を整備していくことが重要。

#### 【参考：国の政策での位置づけ】

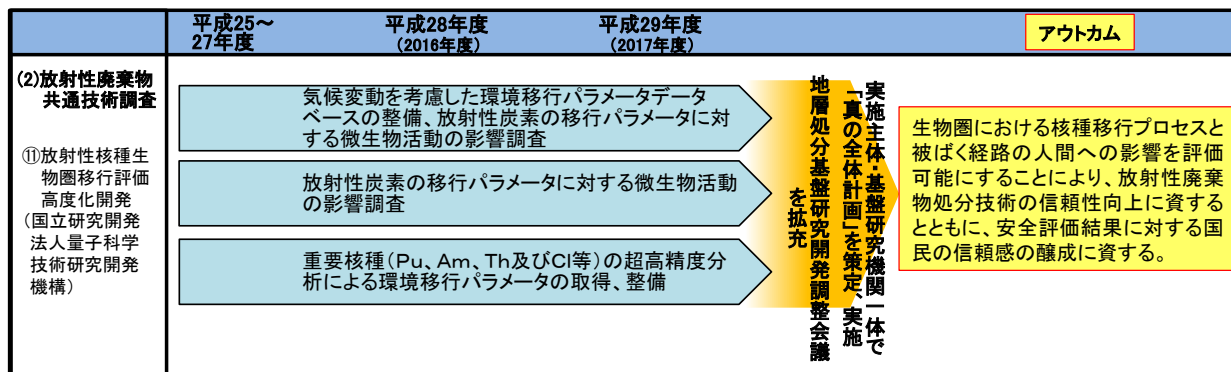
##### ○エネルギー基本計画（平成26年4月11日閣議決定）

- ・地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。あわせて、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。
- ・廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、(中略) 処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進する。

##### ○特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月22日閣議決定）

- ・国、原子力発電環境整備機構及び関係研究機関は、連携及び協力を行いつつ、最終処分の技術的信頼性等の定期的な評価を行うことを通じ、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に当該技術開発等を進めるものとする。

### (4) 事業アウトカムに至るまでのロードマップ



### (5) 研究開発の実施・マネジメント体制等

下記のとおり委員会を設置している。

- ⑩ 放射性核種生物圏移行評価高度化開発評価検討委員会（主査：九州大学 百島則幸教授）

### (6) 費用対効果

本プロジェクトでは、平成25年度から27年度で8.8億円（評価対象額は2.6億円）の国費を投資した。予算執行額と外部発表数は以下のとおり。

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	総額
放射性廃棄物	2.9	3.0	2.9	8.8
共通技術調査*	(0.6)	(1.0)	(1.0)	(2.6)

\*()は評価対象額。

### 外部発表件数

	予算額(億円) (平成25年度 ~27年度)	論文	学会発表	特許等 (出願含む)	講演・ 著書等
(2)放射性廃棄物共通技術調査	2.6	59	103	0	16
①放射性核種生物圏移行評価高度化開発	2.6	59	103	0	16

## 2-2-2 外部有識者（評価検討会）の評価

### （1）総合評価

実務的基盤技術として、この分野の研究開発は地層処分の長期評価を行うために必要であり、各種放射性廃棄物に共通の技術開発として妥当であるとともに、我が国の特性を踏まえた研究開発のためのデータ収集・解析、影響評価がなされており、極めて有意義かつ国が実施する必要があるプロジェクトであると評価できる。また、成果は我が国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充に役立っており、研究開発は順調に推移している。微量元素の詳細測定など、高度な分析技術には目を見張るものがあり、技術面での他の研究機関との連携やマネジメント体制の確立もなされている。加えて、研究成果として論文・学会発表等の数が極めて多く、費用対効果は極めて大きいと言える。なお、それら成果は IAEA 等の国際機関のデータベースとして登録されるなど、国際的にも意義のあるデータ整備がなされていると評価できる。

一方で、今後、引き続き、牧草、家畜、果樹などへの移行パラメータを整備していく必要があるとともに、安全技術の開発と社会の安心醸成へ向け、長期的視点と短期的視点の両方を橋渡しする研究内容も望まれる。なお、本研究開発は、長期的な事業化を含めた費用対効果の定量的な評価が困難であると言える。

#### 【肯定的所見】

- ・実務的基盤技術として、地層処分の長期評価でこの分野の研究開発は、共通技術として妥当である。（A委員）
- ・微生物の影響評価指標、重要核種の移行（分配）係数、微量元素の分析技術の高度化により、安全評価における変動要因を明らかにし、わが国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充に役立っている。（C委員）
- ・微量元素の詳細な測定には目を見張るものがある。（D委員）
- ・高温多湿、多雨また地震などによる土壤の移動が頻繁に起こる我が国の特性を踏まえた研究のための、データ収集・解析、影響評価がなされており極めて有意義なプロジェクトであると評価できる。（B委員）
- ・研究項目の範囲が限られているので、内容がわかりやすく、事業アウトカム、研究開発内容及び事業アウトプットは極めて妥当である。（E委員）
- ・研究開発は順調に推移している。（C委員）
- ・国が実施することの必要性はある。（E委員）
- ・論文発表数が59件、学会発表数が116件と、研究成果の公表が十分になされている。（C委員）
- ・研究成果として論文数がきわめて多く、費用対効果は極めて妥当とだと思います。（E委員）
- ・成果も論文、学会発表とも旺盛で、達成状況も計画通りになされている。（B委員）
- ・成果が IAEA 等の国際機関のデータベースとして登録予定など国際的にも意義のあるデータ整備がなされている。（B委員）
- ・マネジメント体制の確立と他の機関との連携がなされている。（C委員）

#### 【問題点・改善すべき点】

- ・安全技術と社会の安心へ向けた長期と身近な短期の橋渡しの研究も望まれる。（A委員）
- ・今後引き続き、牧草、家畜、果樹（果実）等への移行係数を明らかにすべきである。（D委員）

- ・移行係数の土壌濃度依存性を検討する。(D委員)
- ・国際関係の記載がほとんどなく、国が実施する必要性や、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ、研究開発の実施をBと判断した。この点は概要に示されている「日本固有の特徴」の明確化が必要である。(E委員)
- ・長期的な事業化を含めた費用対効果の定量的な評価が難しい。(C委員)

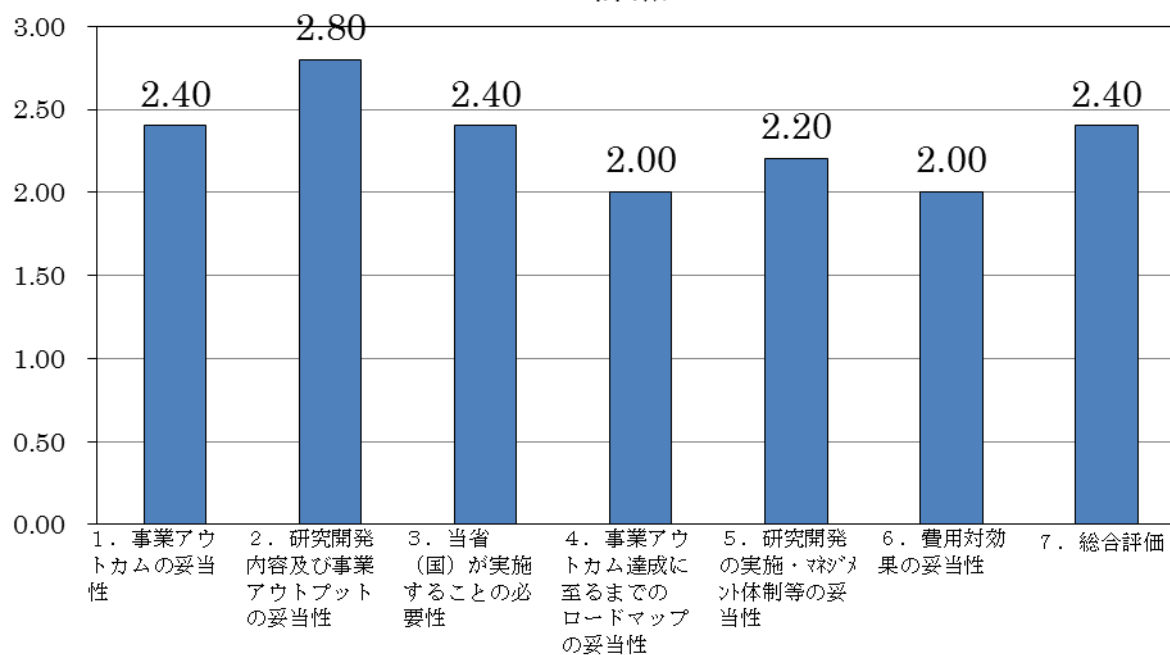
(2) 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(放射性廃棄物共通技術調査(プロジェクト)(中間時))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.40	3	2	2	2	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.80	3	3	3	2	3
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.40	3	2	3	2	2
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	2.00	2	2	2	2	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.20	3	2	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.00	3	1	2	1	3
7. 総合評価	2.40	3	2	2	2	3

評点



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～6.

3点: 非常に重要

又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

7. 総合評価

3点: 事業は優れており、  
より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続で良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

## 2—3管理型処分技術調査

### 2-3-1 研究開発課題（プロジェクト）概要

#### (1) 事業アウトカム

- ・要素技術⑫：地下空洞型処分施設機能確認試験

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
地下空洞内の実規模施設で、上部空間を利用した上部緩衝材・上部埋戻し材の施工性の確認及び初期性能の確認を行う。また、同施設で人工バリアを模擬して施工されている各部材の機能や周辺岩盤の状態変化を長期に亘って確認可能とする。	(1) 施工確認試験及び初期性能確認試験を実施し、上部緩衝材及び上部埋戻し材が初期性能を満たすことを確認する。  (2) 地下施設・周辺岩盤挙動計測及び地震観測を実施し、施工に伴う処分施設構成要素の挙動及び処分施設の地震時挙動を把握する。	<b>【成果】</b> 論文数:3件 学会発表数20件:  <b>【達成状況】</b> (1) 転圧工法と吹付け工法の併用により、要求性能を満たす埋戻しを実施できることを確認した。  (2) 人工バリア内に設置した土圧計等により、上部埋戻し施工が処分施設へ影響を与えないことを確認した。コンクリートピット等のひび割れ状況を調査し、初期の乾燥収縮等により発生したひび割れについて、幅の増大・進展がなく、また、新たな発生もないことを確認した。地震動の観測を実施した。また、地震応答解析を行い、特定の振動数を持つ地震動では、地下施設の変形量に与える影響が相対的に大きくなることを確認した。
<b>事業アウトカム指標</b>	(3) 機能確認試験の実施のため、人工バリア等の機能の健全性に着目し、性能指標となる計測項目を提示するとともに、機能確認試験の設備概念を検討する。	(3) 機能確認の対象とする計測項目の候補として、低透水層の再冠水に伴う特性変化を選定するとともに、膨潤圧及びひずみの変化の可能性を検討するために、予察解析計画を立案した。また、長期間の計測を想定し、計測には光ファイバセンサーを選定した。実規模施設を使用した機能確認試験の設備設計に必要な試験項目を抽出した。
余裕深度処分施設の実用的な施工技術を提示し、余裕深度処分実施に向けた技術的信頼性の向上に資する。 また、余裕深度処分施設の閉鎖後の長期的な管理に資する技術を構築・提示し、廃棄物処分に対する国民の納得感や安心感の醸成に資する。		

- ・要素技術⑬：原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発

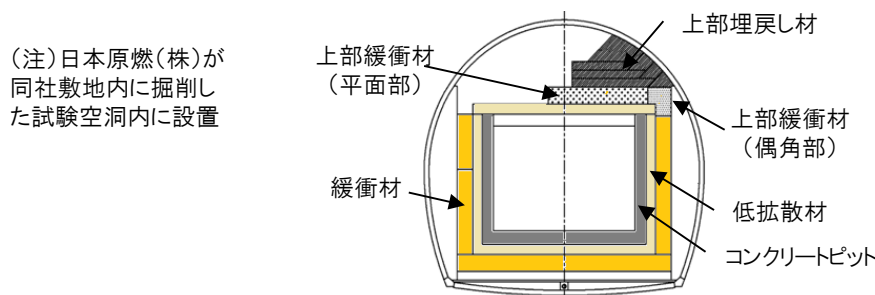
事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
低レベル放射性廃棄物を収納する金属容器に求められる技術要件を提示するとともに、その設計及び材料規格案を提示する。 また、実際のクリアランス金属廃棄物(放射能が低く再利用が可能な金属廃棄物)を用いた低レベル放射性廃棄物を収納する実物大金属容器を実証的に製造し、安全性を示す。	(1) 金属の種類(炭素鋼、ステンレス、その他)と各々の発生物量を調査する。また、低レベル放射性廃棄物処分時に使用される遮へい性能をもった金属容器に要求される特性を調査する。また、実際のクリアランス金属を用いることにより、その輸送時や加工時の周辺環境に有意な放射線影響を及ぼさないことを確認する。	<b>【成果】</b> 論文数:0件 学会発表数:0件  <b>【達成状況】</b> (1) 基礎試験を実施し、開発する金属容器に求められる技術要件を抽出するとともに、抽出された技術要件を満たす材料の不純物濃度条件を評価した。これらの結果から、硫黄及びリン濃度が金属容器の性質に影響を及ぼすことを明らかにした。また、クリアランス金属廃棄物の輸送時の周辺環境や精錬時の工場施設に放射線影響が残らないことを検証するための確認項目を検討した。
<b>事業アウトカム指標 (妥当性・設定理由・根拠等)</b>	(2) 実際のクリアランス金属廃棄物から金属容器を製造するための一連のプロセスを構築し、実証試験計画を立案するとともに、計画に基づき、実証試験を実施する。	(2) 実際のクリアランス金属を用いて金属容器を製作する実証試験を実施するため、東海発電所で発生した金属廃棄物を日本製鋼所室蘭製作所に海上輸送し、精錬する計画を立案した。
クリアランス金属廃棄物の再利用の実現可能性を示すことで、今後の原子力発電所の円滑な廃止措置および金属資源の有効利用に資するとともに、クリアランス金属廃棄物の一般市場への流通に関する技術的信頼性や安心感の醸成に資する。		

## (2) 研究開発内容及び事業アウトプット

### a. 要素技術⑫：地下空洞型処分施設機能確認試験

#### 試験の概要

本試験は、平成 19 年度から平成 24 年度に実施した「地下空洞型処分施設性能確認試験」で構築した実規模施設<sup>(注)</sup>の上部空間を利用し、上部緩衝材、上部埋戻し材の施工確認試験・初期性能確認試験を実施する。



また、同施設を活用しつつ、人工バリアを模擬して施工されている各部材（緩衝材や低拡散材等）の機能や周辺岩盤の状態変化を長期に亘って確認するための技術開発を実施するとともに、当該施設における地震時挙動評価を継続的に実施する。

#### 平成 27 年度までの主な成果

- 施工確認試験・初期性能確認試験
  - 転圧工法と吹付け工法を併用することで、所期の透水性能を満足する埋戻しが実施できることを確認した。
- 施設・周辺岩盤挙動計測及び地震観測
  - 施工済みの人工バリア（緩衝材や低拡散材等）内に設置した土圧計等により、上部埋戻し施工に伴う荷重変化が処分施設へ影響を与えないことを確認した。
  - コンクリートピット等のひび割れ状況を調査し、施工初期の乾燥収縮等により発生したひび割れについて、ひび割れ幅の増大・進展がなく、また、新たなひび割れの発生もないことを確認した。
  - 地震動の観測(平成 27 年度は:計 7 回観測)を実施した。また、地震応答解析を行い、試験施設の固有振動数に近い卓越振動数を持つ地震動が、相対的に実規模施設の変形量に与える影響が大きくなることを確認した。
- 機能確認試験計画等の策定
  - 機能確認期間中の値（膨潤圧、ひずみ）の変化の可能性を検討するために、機能確認の対象とする計測項目の候補として、低透水層の再冠水に伴う特性変化（水理、力学）を選定するとともに予察的な解析を行う計画を立てた。なお、計測方法としては状態変化を長期に亘って確認するため、光ファイバセンサーを選定した。
  - 実規模施設を使用した機能確認試験の設備設計に必要な項目として、以下を抽出した。
    - ・有害塩の低拡散材等のセメント系材料への劣化影響試験
    - ・光ファイバセンサーの耐久性（塩分、pH、放射線）試験

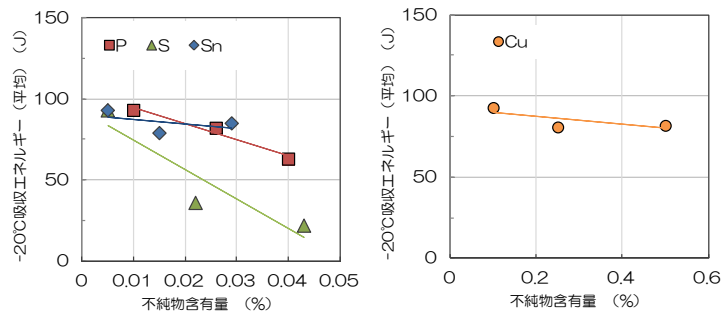
全体スケジュール

事業項目	17年度～24年度	25年度～26年度	27年度～31年度
	性能確証試験	閉鎖技術確証試験	機能確認試験
施工確認試験・初期性能確認試験	計画策定		
施設・周辺岩盤挙動計測及び地震観測	挙動計測	地震観測	
機能確認試験計画の策定等			試験計画策定 確認方法構築 解析及び試験

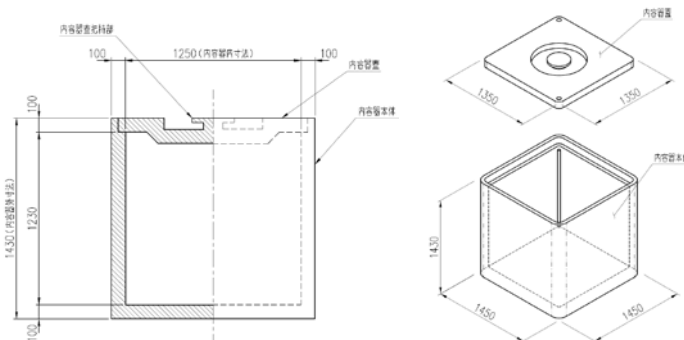
b. 要素技術⑬：原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発

全体実施概要

- ・原子力発電所等の解体から生じるクリアランス金属廃棄物等を利用し、余裕深度処分を想定した低レベル放射性廃棄物を一時的に保管する放射線遮へい能力・耐久性を有する金属容器への利用プロセスを技術開発し、容器材料の規格案を策定する。
- ・実際のクリアランス金属廃棄物の実物大の金属容器への再利用により、再利用技術の実現可能性を示す。



不純物元素の影響評価結果



金属容器図(肉厚100mm)





平成 27 年度までの主な成果

- ・開発する金属容器に求められる技術要件を抽出した。具体的には、材料規格案の策定に向けて、基礎試験を実施し、抽出された技術要件を満たす材料の不純物濃度条件を評価した。この結果、鋼材中の硫黄(S)及びリン(P)濃度が機械的性質に影響を及ぼすことが分かった。
- ・クリアランス金属廃棄物の輸送時に周辺環境に影響を与えないことや精錬した工場施設に放射能の影響が残らないことを検証するための確認項目を検討した。
- ・実証試験として、実際のクリアランス金属を用いて金属容器を製作するため、東海発電所から発生した金属廃棄物を日本製鋼所室蘭製作所に海上輸送し、精錬する計画を立案した。

全体スケジュール

事業項目	27年度	28年度	29年度
(1)再利用率の開発 ①開発する容器の要件の整理 ②基礎試験の実施 ③再利用率の開発	金属容器に求められる技術要件の整理	容器材料に求められる条件等の整理	材料規格案の策定
(2)再利用率の評価 ①実証試験計画の策定 ②実証試験の実施 ③再利用率の評価	実際のクリアランス金属を用いて金属容器を製作		経済性評価の実施

**(3) 当局が実施することの必要性**

原子力発電に伴って必然的に生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。さらには、地層処分や余裕深度処分において特段に求められる安全確保の長期性と処分事業の長期性を踏まえれば、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための基盤を整備していくことが重要。

【参考：国の政策での位置づけ】

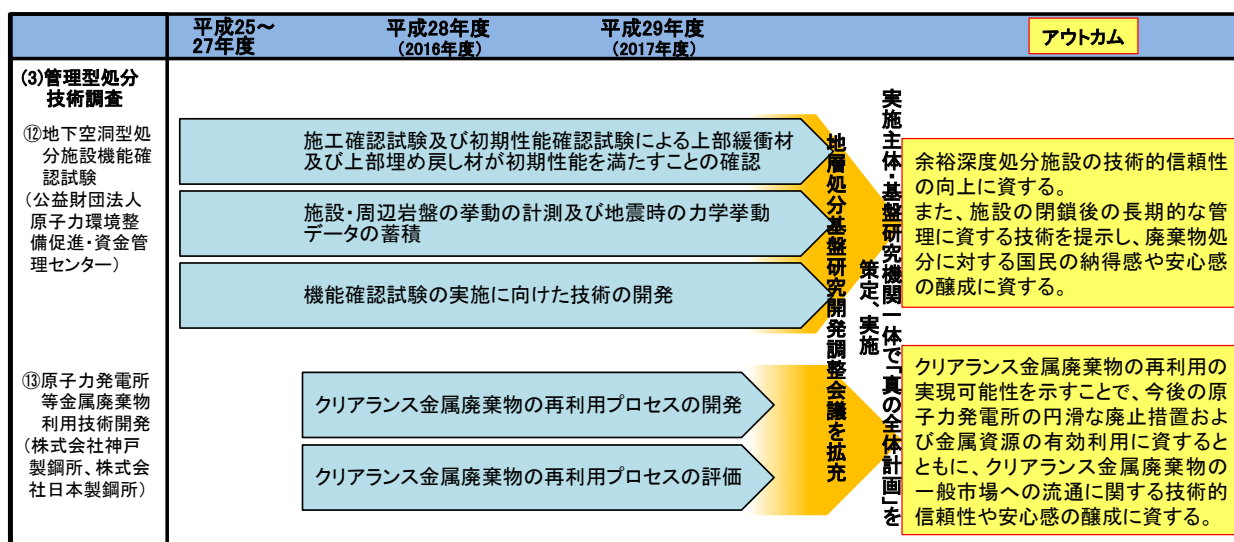
○エネルギー基本計画（平成26年4月11日閣議決定）

- ・地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。あわせて、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。
- ・廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、（中略）処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進する。

○特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月22日閣議決定）

- ・国、原子力発電環境整備機構及び関係研究機関は、連携及び協力を行いつつ、最終処分の技術的信頼性等の定期的な評価を行うことを通じ、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に当該技術開発等を進めるものとする。

（4）事業アウトカムに至るまでのロードマップ



（5）研究開発の実施・マネジメント体制等

要素技術ごとに下記のとおり委員会を設置している。

⑫地下空洞型処分施設機能確認試験検討委員会（主査：東北大学 新堀雄一教授）

⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発技術委員会（主査：物質・材料研究機構 友田 陽特別研究員）

## (6) 費用対効果

本プロジェクトでは、平成25年度から27年度で6.6億円の国費を投資した。予算執行額と外部発表数は以下のとおり。

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	総額
管理型処分技術調査	2.6	2.1	1.9	6.6

### 外部発表件数

	予算額(億円) (平成25年度 ~27年度)	論文	学会発表	特許等 (出願含む)	講演・ 著書等
(3)管理型処分技術調査	6.6	3	20	0	7
⑫地下空洞型処分施設機能確認試験 (地下空洞型処分施設閉鎖技術確認試験を含む)	5.6	3	20	0	7
⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発	1.0	0	0	0	0

## 2-3-2 外部有識者（評価検討会）の評価

### (1) 総合評価

事業アウトカム、研究開発内容及び事業アウトプットは分かりやすく、極めて妥当であり、目標の設定、研究計画、研究開発に関するマネジメントもしっかりしていると評価できる。

地下空洞型処分施設機能確認試験については、実規模大の地下施設を利用した、建設・操業に向けた実務的基盤技術開発であり、目標が明確であるとともに、アウトカムも具体的であると評価できる。また、本研究開発は短期・中期・長期のロードマップに従って着実に実施され、順調に推移していることから、将来の事業許可申請、安全審査、処分場建設の目処ができてきており、余裕深度処分については事業化段階に達しつつあると評価できる。

原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発については、アウトカムについて、本研究開発の成果が放射性廃棄物処分用の金属容器利用につながれば、将来生じる課題に直接的に寄与でき、大きな効果を生じると期待できる。金属廃棄物を処分容器に利用することは優れたアイデアである。また、その結果、費用対効果も高い評価が得られることとなると評価できる。加えて、研究プロセスやロードマップの設定が明確であり、廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成に直接的に役立つものと評価できる。

一方で、本プロジェクトにおいて経験した予期せぬ問題点、あるいは新たに予想される事態に対応すべく、前提条件の見直しなどを検討する必要がある。地下空洞型処分施設機能確認試験については、掘削や施工などの工学技術は既存の土木技術が活用出来る分野であり、産学官による研究開発の連携の強化が望まれる。コンクリート構造物のひび割れや遮へい性確保の課題に対してコンクリート工学や構造工学の最新知見を取り入れるとともに、モニタリング自体が材料強度や核種移行に及ぼす影響も検討していくことが望まれる。なお、研究開始からの期間が短いことを考慮しても、研究成果としての論文などの成果の公表数が少ないと言える。

#### 【肯定的所見】

- ・内容的にわかりやすく、事業アウトカム、研究開発内容及び事業アウトプットは極めて妥当である。(E委員)
- ・本プロジェクトは、目標の設定、研究計画、研究開発に関するマネジメントもしっかりしている。(B委員)
- ・アウトカムについても、特に金属廃棄物利用技術開発の成果が金属容器利用につながれば将来廃炉の結果生じる廃棄物の処分に必要となる大量の容器製造に寄与することになり大きな効果を生じることとなる。また、その結果費用対効果も高い評価が得られる。(B委員)
- ・実規模大施設を利用した、建設・操業に向けた具体的な実務的基盤技術であり、目標が明確であるととも、それなりのアウトカムも具体的である。(A委員)
- ・地下空洞型処分施設機能確認試験は、実規模大での岩盤空洞内でのコンクリートピットやベントナイト緩衝体の検証試験が順調に推移しており、余裕深度処分は事業化段階に達している。(C委員)
- ・地下空洞型処分施設機能確認試験は、短期・中期・長期のロードマップに従って着実に実施されており、将来の事業許可申請、安全審査、処分場建設の目処ができてきている。(C委員)
- ・東日本大震災以後、建設地点の巨大地震による地震動や津波の評価基準を見直し、地下空洞型処分施設での地震応答挙動を検討している。研究開発の意義がある。(C委員)
- ・原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発は初年度である。研究プロセスやロードマップの設定が明確であり、廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成に実際に役立つものと期待される。(C委員)
- ・⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発について、良い検討をしている。特に処分容器に利用することはよいアイデアである。(D委員)

#### 【問題点・改善すべき点】

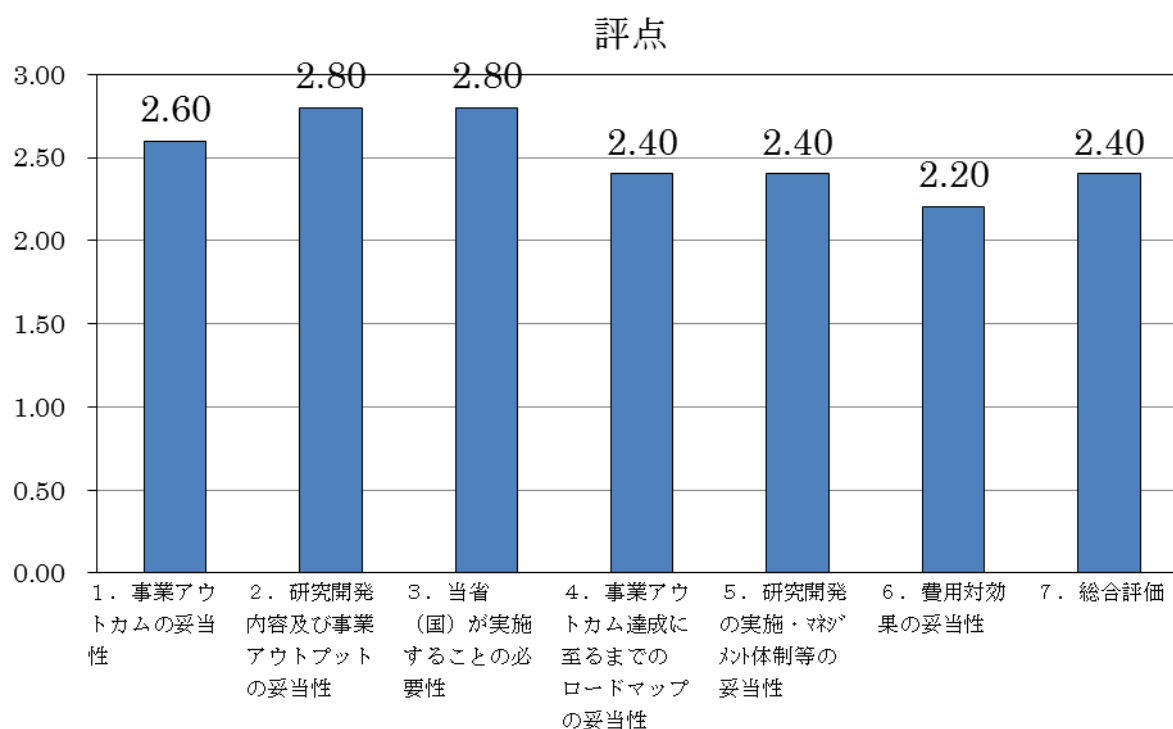
- ・この確認試験で経験した予期せぬ問題点、あるいはこの試験を通じて得られた、新たに予想される事態への前提条件の見直しなどへの留意が必要である。(A委員)
- ・地下空洞埋設施設の掘削及び施工技術は、トンネルや石油備蓄等での土木技術が活用できる分野である。このことを踏まえて、研究開発での産官学による連携をさらに強化していただきたい。(C委員)
- ・コンクリート躯体のひび割れ制御と遮蔽性確保の課題解決に、コンクリート工学及び構造工学の最新の知見を取り入れるように努めていただきたい。(C委員)
- ・⑫地下空洞型処分施設機能確認試験について、センサーの挿入が材料強度や核種移行に及ぼす影響が調べられているか。(D委員)
- ・研究が始まってから期間がまだ短いことを考慮しても、研究成果として論文数などの成果の公表が少なく、成果的な項目を低い評価とした。特に費用対効果をCとした。(E委員)

(2) 評点法による評価結果

評点法による評点結果

(管理型処分技術調査(プロジェクト)(中間時))

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.60	3	2	3	2	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.80	3	3	3	2	3
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.80	3	3	3	2	3
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	2.40	3	2	3	2	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.40	3	2	3	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.20	3	2	3	2	1
7. 総合評価	2.40	3	2	3	2	2



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～6.

3点: 非常に重要  
又は非常によい  
2点: 重要又はよい  
1点: 概ね妥当  
0点: 妥当でない

7. 総合評価

3点: 事業は優れており、  
より積極的に推進すべきである。  
2点: 事業は良好であり、継続すべきである。  
1点: 事業は継続で良いが、大幅に見直す必要がある。  
0点: 事業を中止することが望ましい。

### 第3章 今後の複数課題プログラムと研究開発課題に関する提言（評価検討会）

#### 3-1 複数課題プログラム

##### 今後の研究開発の方向等に関する提言

放射性廃棄物処分関連分野プログラムでは技術的信頼性を向上させることが主な目的となっていることから、放射性廃棄物の処分についてはいまだに技術的に問題点が多いかのような印象を与え、一見して「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」に反するようにも捉えられるため、技術的進展によってコスト的問題点にも取り組みを拡大していくことを国民に理解いただくことで事業アウトカムを目指すことが必要である。また、今後の研究開発としては、各プロジェクトの成果の統合化が必要である。このような多分野統合型システムの作成を通じた多分野における人材育成も必要である。したがって、各プロジェクトを連携させた基盤技術を俯瞰して総合評価できる仕組みと、それを統括できるマネジメント体制の構築を検討するとよいだろう。

これらに取り組んでゆくためにも、「真の全体計画」の策定を早急に行い、各事業の全体計画の中での位置付けや得られた成果から生じるアウトカムを明確に表すことが必要である。また、個々の技術開発内容は世界的にも貴重なデータや知見を生み出す内容であり、今後日本が地層処分技術をもって海外に技術協力や輸出などを行う際にも重要な支援情報となり得る。したがって、これらの点を踏まえたアウトカム指標および目標の設定が必要となろう。

##### 【各委員の提言】

- ・放射性廃棄物処分関連分野プログラムでは技術的信頼性を向上させることが主な目的となっていて、コスト低減に関するプログラムがないように思う。東京オリンピックの会場問題のように、コスト意識が最近高まっており、実際の建設段階でコストによる評価が大きな問題点となると思われる。大規模な坑道掘削では多額な費用となることは明白であり、このコスト低減は重要な課題であると考えられる。坑道掘削は不均質性に大きく影響を受けるために明確な改善策はないが、この数十年間の徐々に技術的進展によって徐々にコスト低減がなされている。これに国が積極的にかかわり研究支援することによって新たな工法の開発や改善がなされれば、研究費用に比べ建設コストが大きく低減することが期待できると思われる。すでに技術は確立されているので国が関与する必要はなく、民間の建設会社がすればよいとの意見もあるが、それではなかなかコスト低減がなされないように思う。また、技術的信頼性の向上だけを目的とした場合に、放射性廃棄物の処分はまだまだ技術的に問題点が多くあると言っているようにも聞こえ、事業アウトカム指標である「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」に反するようにも思える。ここで、コスト低減的な研究プログラムをいれることによって、技術的問題点だけでなく、コスト的問題点も切り込んでいることを国民に理解をいただき、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」をめざすことが必要であると考え。（E委員）
- ・原子力関係の施設は、放射性廃棄物処分施設を含めて、すべて建築分野での取り扱いになっており、建築学会がマニュアルや設計・施工指針を作成している。これでは不十分であり、建築学会、土木学会、地盤工学会、コンクリート工学会などを網羅した、学会横断型の研究体制が必要である。各学会主導のたこ壺的な研究組織や体制では役に立たない。当面、耐用年数300年（実際には何もできていない）を目標としたコンクリート貯蔵施設の耐久性や耐震性の研究開発を推進すべきである。これは福島原発事故から発生した放射性物質の長期保管施設（中間貯蔵施設）の

実施計画にも役立つものである。(C委員)

- ・各プロジェクトの成果の統合化。今後に得られるデータを含めて全て取り入れた地上生物や海洋生物に及ぼす影響を試算するシステムを作成することが望まれる。その中で人為的インパクトをどのように取り込むか課題になろう。このようなシステムの公開が多方面における人材育成のために必要である。(D委員)
- ・あらゆる要因・因子を包含して影響圏の推定を行うことが望まれる。(D委員)
- ・人材を確保する具体的なプログラムを研究すること。(D委員)
- ・「使用済燃料直接処分技術開発」に特化したプログラムないしプロジェクトを建てるべきである。例えば、a) 高レベル地層処分地下施設と共用できるかどうか。b) 特別な地下施設が必要かどうか(深度も含めて)。c) ウォータープールが必要かどうか。d) 閉じ込め材には何が良いか。等々の検討。(D委員)
- ・関連機関の調整は謳われているが、研究開発を実務に向けてより具体化するために、各個別プロジェクトを連携させた基盤技術を俯瞰して総合評価できる仕組みと、それを統括できるマネジメント体制があるとよい。(A委員)
- ・「真の全体計画」の策定を早急に行い、各事業の全体計画の中での位置づけの明確化、得られた成果が全体計画にどのように活用され、どのようなアウトカムが生じるか、その結果としての集成が、平成40年代後半の処分実施に至るロードマップとして描くことができるか。ロジックツリーなどを用いて表すことが必要である。その結果が国民の理解を増進し、処分場選定に当たり自治体や住民の理解を促し、早期の実現につながることになる。また、個々の技術開発内容は世界的にも貴重なデータや知見を生み出す内容であり、今後の原子力発電所保有の国々にとって垂涎のものとなる。また、今後日本が原子力発電システムを海外に技術協力、輸出などを行う際にも重要な支援情報となりうる。以上の点を踏まえたアウトカム指標および目標を立てることも必要である。(B委員)

#### <上記提言に係る担当課の対処方針>

上記の提言に加えて、最終処分法における基本方針に基づき設置された、原子力委員会放射性廃棄物専門部会が平成28年9月に取りまとめた評価報告書において、研究開発等における関係行政機関等の間の一層の連携強化、基盤調整会議の運営の透明性確保、原子力発電環境整備機構は一層のリーダーシップを発揮し、実施主体・基盤研究開発機関一体で「真の全体計画」を策定すること、人材を継続的に確保・育成していくための方策の検討・充実が必要とされた。

これらを受けて、各プロジェクトを連携させた基盤技術を俯瞰して総合評価できる仕組みと、それを統括できるマネジメント体制の構築等を目的として、従来の地層処分基盤研究開発調整会議のスキームの拡充等の見直しを行い、「地層処分研究開発調整会議」を新たに設置し、各事業の全体計画の中での位置付けや得られた成果から生じるアウトカムを明確に表すように取り組んでいく。

### 3-2 研究開発課題

#### 3-2-1 地層処分技術調査（プロジェクト）（中間）

##### （1）今後の研究開発の方向等に関する提言

個々の研究開発が全て統合され、最終的に国民の理解を得て処分事業が実施されることにより、わが国におけるエネルギー課題の解決に資するというを示すことが重要であり、個々の研究開発を統合した全体ロードマップを提示することにより、平成40年後半の処分実施とその後の国民の享受する利益を明示することが必要である。国民の真の理解を得るためには、今後長期にわたる活動が必要であり、理解を得る活動を官民一丸となって実施する必要がある。また、処分場の立地選定が急務となっている現段階で、現時点での安心・安全の論拠の問題点の抽出と再構築の検討を行うとともに、実務的な基盤技術の研究開発を重視することも必要であり、各個別研究開発を連携させた総合評価とそれを統括するマネジメント体制があるとよい。なお、波及効果を確実に得るために、技術の特許化などで知的財産を確保することも必要であり、国も一体となって我が国の利益のために検討すべきである。

岩盤中地下水移行評価確証技術開発については、地下研究施設での実証試験により、精度の高いボーリング掘削技術と孔内調査技術が実用化され、割れ目の多い岩盤にも適用可能なトレーサ試験技術が開発されたことなどが高く評価できる。研究計画は実証レベルに達しており、研究開発は順調に推移している。一方で、コントロールボーリングに関しては、海外のシェールガス分野などにおいて類似の実績があり、今後も開発を継続するのであれば、これらとの関連性を明確にすべきであろう。割れ目の多い岩盤に関しては、スケールの異なる割れ目ネットワークが物質移行に及ぼす影響をスケール毎に評価していくことが重要であろう。

地質環境長期安定性評価確証技術開発については、地質学的に安定な場所を提示するために地質の長期安定モデルを構築することの意義は認められるものの、このモデルにより高レベル放射性廃棄物処分地が提示できるかの研究プロセスは必ずしも明確ではないため、費用対効果や研究開発の事業化が未確定である。

処分システム評価確証技術開発については、ニアフィールドでの核種移行評価技術における評価モデルの精緻化に関して、概念構築・シナリオ構築の妥当性の検証が必要である。「全体計画」における研究開発成果の体系化方策の状況を踏まえ、具体的な見直しが望まれる。過酷事象の影響に関しては、巨大地震や津波を含む想定外事象における人工バリアの破損を研究開発に取り入れたことが評価できる。

処分システム工学確証技術開発については、工学的対策に関するモニタリング技術の開発に関連して、モニタリングの目的とそれに対応するセンサー種類とその耐久性、さらに無線通信でのデータ取得に関する研究開発がさらに必要である。また、火災以外の自然災害に対する具体的な課題解決への取り組みが望まれる。また、モニタリング機器設置に起因する人工バリア・天然バリアの隙間や機器更新のための方策を検討するとよい。

海域地質環境調査確証技術開発については、複数の物理探査手法の最適な組合せの効果と、新しい探査法の開発の要否の十分な検証が望まれる。また、沿岸部でのプラットホームを用いたボーリング掘削実施を拡大することにより、わが国における地質構造と地下水環境の把握の精度の更なる向上が望まれる。

沿岸部処分システム高度化開発については、上述の処分システム評価確証技術開発、処分システ



ム工学確証技術開発及び海域地質環境調査確証技術開発との関係性を意識し、どのような観点で整理・統合・発展させた研究開発であることを明示しつつ取り組むことが望まれる。

TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発については、人工バリア材の長期変質挙動予測と処分施設モデルの解析手法を確立し、ヨウ素及び炭素の溶出抑制技術を提案しており、研究開発は順調に推移している。ナチュラルアナログサイトの選定と調査により、アルカリ環境下でのベントナイトの変質過程を明らかにできることには意義がある。コンクリート構造物の設計・施工条件に関しては、ケイ酸カルシウム水和物やエトリンガイトの生成条件などの更なる検討が望まれる。

セメント材料影響評価技術高度化開発については、セメント材料が人工バリア性能に及ぼす影響の評価技術及び核種移行評価技術が開発され、低アルカリ性セメントやその人工バリアへの適用性などが提示された。この成果は管理型処分施設や保管施設にも適用できると期待できる。

可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発については、処分施設閉鎖までの回収技術の構築は急務であり、社会的に大きな意義がある。搬送定置や緩衝材除去技術は地下環境での実証レベルにまで達しており、技術開発は順調に推移している。

直接処分等代替処分技術開発については、使用済燃料の直接処分やその他の代替処分オプションの検討が行われ、その要素技術の開発が適切に実施されており、研究開発の意義が認められる。

#### 【各委員の提言】

- ・個々の研究開発を統合した全体ロードマップにより、平成40年後半の処分実施とその後の国民の裨益を表すことが必要である。(B委員)
- ・個々の研究開発がすべて統合され、最終的に国民と住民、自治体の理解を得て処分場が選定され、原子力発電政策に対する信頼を回復し、我が国におけるエネルギー課題の解決に資することを示すことが必要である。(B委員)
- ・立地選定が急務となっている現段階で、選定の根拠となる実務的な基盤技術の重視も必要である。(A委員)
- ・現時点での安心・安全の論拠の問題点の抽出と再構築の検討が必要である。(A委員)
- ・関連機関の調整としてまとめられているが、研究開発を実務に向けてより具体化する、各個別プロジェクトを連携させた安全・安心の総合評価とそれを統括するマネジメント体制があるとよい。(A委員)
- ・国民の真の理解を得るためには、今後長期にわたる活動が必要であり、できるだけ早い時期に国民に示し、理解を得る活動を官民一丸となって実施する必要がある。(B委員)
- ・波及効果の果実を確実に確保するために特許化などで知的財産を確保することも必要である。費用の点の課題もあるが、国も一体となって我が国の利益のために検討をする必要がある。(B委員)
- ・硬岩の代表として瑞浪センターの花崗岩は岩種として標準的なものであると思うが、幌延センターの岩盤は珪質泥岩であり、堆積岩としてはその範疇の1つでしかもやや特殊であり、その結果をもって、すべての堆積岩の特徴を表しているとはいいいにくいので、他の岩種(凝灰岩、砂岩、泥岩など)もある程度想定した検討が必要だと思う(基本的に意識されていると思うが、ややその点の観点が弱いように思え、記載した)。(E委員)
- ・①岩盤中地下水移行評価確証技術開発。幌延及び瑞浪サイトでの実証試験より、精度の高い掘削ボーリング技術と孔内調査技術が実用化されており、割れ目の多い岩盤にも適用可能なトレーサ試験技術が開発されたことなどが高く評価できる。研究計画は実証レベルに達しており、順調に

推移していると判断できる。(C委員)

- ・ 傾斜コントロールボーリングは、海外ではシェールオイルやシェールガスなどでかなりの実績があり、これとの関係の記載がなく、新技術として今後も継続されるのであれば、明確な道筋を示す必要がある。(E委員)
- ・ ①岩盤中地下水移行評価確証技術開発と②地質環境長期安定性評価確証技術開発について、小クラック網の寄与の仕方を考慮すべきであろう。実測できるかどうか。核種移行にいかなる影響を及ぼすか、等々である。なぜなら、大クラックは透水を支配するが、小クラック網は長期間にわたる吸着量の大小に関係する。(D委員)
- ・ ②地質環境長期安定性評価確証技術開発では、地質的に安定な場所を提示するために、地質化学長期安定モデルを構築することの意義は認められる。しかし、このモデルにより高レベル放射性廃棄物処分地が提示できるかの研究プロセスが必ずしも明確ではない。費用対効果や研究開発の事業化が未確定である。全体的に定量的な評価が困難である。(C委員)
- ・ ③処分システム評価確証技術開発では、ニアフィールドにおける核種移行評価技術における評価モデルの精緻化に関して、概念構築・シナリオ構築の妥当性の検証が必要である。また、サイト選定や処分概念の具体化が可能になっている。「地層処分基盤研究開発調整会議」での研究開発成果の体系化方策の状況を踏まえて、具体的な見直しを実施していただきたい。過酷事象の影響に関して、巨大地震・津波を含む想定外事象へのオーバーパックの破損を新たに研究開発の取り入れたことが評価できる。今後は、より具体性のある、喫緊の課題解決に取り組んでいただきたい。(C委員)
- ・ ④処分システム工学確証技術開発について、長期にわたるモニタリングのための機器の設置により発生する可能性がある隙間や機器の更新のための方策を検討しておくことがよい。(D委員)
- ・ ④処分システム工学確証技術開発における工学的対策に関するモニタリング技術の開発に関連して、モニタリングの目的とそれに対応するセンサー種類とその耐久性、さらに無線通信でのデータ取得に関する研究開発がさらに必要である。福島第一原子力発電所での事故を踏まえて、自然災害である巨大地震や津波に対する処分施設の操業期間中の安全対策の整備は重要な課題であり、火災以外事象も対象にして、施設全体でのより具体的な課題解決に取り組んでいただきたい。(C委員)
- ・ ⑤海域地質環境調査確証技術開発は、最終年度での研究開発である。最適な物理探査システム(弾性波探査(地層構造)と電磁法探査(地下水状況)の組み合わせ)の効果を、新しい探査法の開発は必要ないのかを含めて十分に検証していただきたい。また、沿岸部でのプラットフォームを用いた掘削実施を拡大し、わが国での地層構造と地下水状況の把握の精度をさらに向上させていただきたい。(C委員)
- ・ ⑥沿岸部処分システム高度化開発では、平成27年度のみでの評価であり、文献調査と傾斜区分図の作成に留まる。まず、⑤海域地質環境調査確証技術開発(産業総合技術研究所)、③処分システム評価確証技術開発(日本原子力開発機構)、④処分システム工学確証技術開発(原子力環境整備促進・資金管理センター)での個別のプロジェクトがどのような思想のもとで、新たな研究開発として整理・統合さらに発展されたのかを明確にして、今後の研究開発に取り組んでいただきたい。(C委員)
- ・ ⑦TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発では、人工バリア材の長期変質挙動の予測と処分施設モデ

ルの解析手法を確立し、人工バリア材及び地質媒体への収着係数の小さい、ヨウ素(I-129)及び炭素(C-14)の溶出抑制の技術を提案している。研究開発が順調に推移している。ナチュラルアナログサイトを選定しており、今後の現地調査により、アルカリ環境下でのベントナイトの変質過程を明らかにできることには意義がある。50℃以上の温度条件にて、セメントのCSHのC/S比が変化するとしている。それが、構造物の設計・施工条件にどのように影響するかの課題が良く理解できない。コンクリート構造物の設計・施工条件(温度80℃)を考慮するならば、CSHやエトリンライト(DEF劣化)の生成条件への影響をさらに検討していただきたい。何れにしてもこれらの施設設計でコンクリートの温度上昇はできるだけ抑制すべきであり、設計・施工マニュアルに温度条件を設定していただきたい。(C委員)

- ・⑧セメント材料影響評価技術高度化開発は、すでに終了したプロジェクトである。TRU廃棄物の地層処分に関して、セメント材料が人工バリア性能に及ぼす影響の評価技術及び核種移行技術が開発された。3成分系の低アルカリ性セメント(HFSC)の開発とその人工バリアへの適用性や安全性が明らかになった。このセメント系材料は、福島第一発電所の事故で放出された放射能に汚染された土壌や草木からの焼却灰等の管理型保管施設にも適用できると期待される。(C委員)
- ・⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発において、将来の管理体制が不確かな現状では、施設閉鎖までの回収技術の構築は急務であり、社会的な意義も大きい。すでに搬送定置や緩衝材除去技術を地上で確立しており、地下環境での実証レベルにまで達している。研究開発は順調に推移している。(C委員)
- ・⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発について、オーバーパックが破壊された時の回収技術の検討も必要であろう。(D委員)
- ・⑩直接処分等代替処分技術開発では、使用済み核燃料の直接処分及び代替処分オプションの検討が始まり、その要素技術の開発が適切に実施されている。超長期の耐久性が期待できる処分容器としてNi基合金などの選定が進んでいる。研究開発の意義が認められる。(C委員)
- ・⑩直接処分等代替処分技術開発について、超深度処分に関して、わが国でも、自己のデータに基づいて早急に検討することが望まれる。(D委員)

#### <上記提言に係る担当課の対処方針>

個々の研究課題を連携させた研究開発の全体計画を、新たに設置予定の「地層処分研究開発調整会議」において策定する。また、「地層処分研究開発調整会議」を透明性高く運営していくよう運用改善すること等を通じ、研究開発の必要性、意義、成果を国民に対してよりわかりやすく発信するように改善する。さらに、各研究開発間のシナジーを生み出すため、必要に応じ研究開発委員会の合同開催を行うなど、資源エネルギー庁に放射性廃棄物対策技術室を新設したことを踏まえ、これまで以上に研究開発マネジメントを発揮していく。

### 3-2-2. 放射性廃棄物共通技術調査（プロジェクト）（中間）

#### （1）今後の研究開発の方向等に関する提言

我が国の特性を踏まえた影響評価・データ収集を行うことは、超長期的な放射性廃棄物処分を安全・確実とするため、また国民の安心感を醸成するためにも必要である。また、本研究開発では、微生物の影響評価指標の提示、重要核種の移行パラメータ取得、微量元素の分析技術の高度化により、安全評価における変動要因を明らかにしており、我が国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充に役立っている。これらの観点で、研究開発は順調に推移していると言える。今後の取組として、本研究開発の成果を取り込んだ核種移行計算を行い、影響範囲を推定するプログラムの遂行や他の研究開発とリンクさせた取組が望まれる。また、「日本固有の特徴」という観点においては、その固有性を明瞭に示すことが必要であろう。本研究開発における成果は貴重なデータであり、国際的な機関等を通じて、世界的に活用されることが望まれる。

#### 【各委員の提言】

- ・微生物の影響評価指標、重要核種の移行（分配）係数、微量元素の分析技術の高度化により、安全評価における変動要因を明らかにし、わが国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充に役立っている。（C委員）
- ・共通基盤調査の中で地震の多い我が国の特性を踏まえた影響評価、データ収集を行うことは超長期的な貯蔵を安全・確実にするため、また国民に対する安心感を醸成するためにも必要である。特にさまざまなタイプの地震が発生していること、大規模津波も経験していることで、より実態に即したデータを収集、解析できると考えられる。（B委員）
- ・貴重なデータであるので、国際的な機関に登録し世界的に活用されることが望まれる。（B委員）
- ・研究開発は順調に推移している。（C委員）
- ・本プロジェクトの成果（生物移行係数）を取り込んで核種移行計算を行い、影響圏を推定するプログラムを遂行すべきであろう。その成果は、(a)影響圏の策定に反映する。(b)ナチュラル・バリアーの効能評価につなげる。（D委員）
- ・気候としては欧米とさほど変わりがなく、「日本固有の特徴」という点に関して、もっと明瞭に示してもらいたい。（E委員）
- ・他の個別研究開発とリンクさせたアウトカムの検討が望まれる。（A委員）

#### <上記提言に係る担当課の対処方針>

我が国特有の環境を考慮した農作物や土壌等に対する生物圏核種移行パラメータの整備・拡充に関しては、実施主体である原子力発電環境整備機構のニーズを勘案し、研究開発の成果を取り込んだ核種移行計算による影響範囲の推定や他の研究開発とリンクさせた取組を実施していく。

### 3-2-3. 管理型処分技術調査（プロジェクト）（中間）

#### （1）今後の研究開発の方向等に関する提言

本プロジェクトは工学技術開発であることから、研究成果を論文化することが難しいことは理解できるものの、国のプロジェクトであることに鑑み、特許よりも成果の公表が重要な項目と捉え、査読付論文など成果の公表に注力することが望ましい。

地下空洞型処分施設機能確認試験については、実規模大の施設を利用した施工確認・初期性能確認試験が実施されており、研究計画は前プロジェクトから継承され、着実に進展している。また、地震時の挙動評価を継続実施していることも評価できる。コンクリート構造物におけるひび割れの発生や進展に関しては、初期欠陥としてのひび割れを発生させない設計・施工条件を設定することが重要であり、取組が望まれる。本研究開発は具体的な研究成果が確実に期待できるものであり、マネジメント体制での産学官連携の取組をさらに期待したい。なお、実規模施設を利用した技術の検証と課題への対応に関する研究開発においては、特に原位置試験に時間をかける必要があるため、これに配慮した今後の研究開発の継続が望まれる。

原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発については、低レベル放射性廃棄物を収納する金属容器に求められる技術要件とその設計・材料規格案を提示し、クリアランス金属資源の再利用可能性を示すことには取り組む意義があると言える。民間企業への委託研究であり、研究プロセス及びロードマップの設定が明確である点は評価でき、廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成に実際に役立つものである。

#### 【各委員の提言】

- ・工学そのままの技術開発であるので、研究成果として論文とすることは難しいことは理解できるが、国のプロジェクトであり、特許というより、成果の公表が重要な項目であることから、今後、査読付きの論文など成果の公表に力をいれてほしい。（E委員）
- ・⑫地下空洞型処分施設機能確認試験は、初年度の研究開発である。六カ所村での実規模施設を使用した施工確認試験・初期性能確認試験が実施されており、研究計画は着実に進行し、前プロジェクトから事業が継承されている。地震時挙動評価の継続も評価できる。（C委員）
- ・コンクリートピットのひび割れ調査から、乾燥収縮ひび割れの発生や進展が議論されているが、元々このような施設では初期欠陥としてのひび割れを発生させないように設計・施工条件を設定することが必要である。（C委員）
- ・機能確認期間中におけるモニタリングにおける光ファイバーの耐久性試験も重要である。（C委員）
- ・低レベル放射性廃棄物の地下空間施設は、長期にわたり、(a)地上にわたって人為的インパクトにさらされやすい、(b)地表空間の状況（気温、雨水、地下水、植生等）に影響を受けやすい。そこで、この場合も、こうした地上空間状況の変化に応じた逃散核種の移行を予測しておくことが必要であろう。（D委員）
- ・具体的な研究成果が確実に期待できるものであり、マネジメント体制での産学官連携での取り組みをさらに期待したい。（C委員）
- ・実規模での建設・操業段階の技術の検証と問題点への対応を研究開発するには、原位置試験に時間をかける必要がある。この点に配慮した今後の研究開発の継続が望まれる。（A委員）
- ・⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発は、初年度の研究開発である。低レベル放射性廃棄物を収納する金属容器に求められる技術要件とその設計・材料規格案を提示し、クリアランス金属資

源の再利用可能性を示すことは意義がある。(C委員)

- ・ 民間企業への委託研究であり、東海発電所の金属廃棄物を運搬し、日本製鋼室蘭製作所で精錬する、研究プロセス及びロードマップの設定が明確である。(C委員)
- ・ 廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成に実際に役立つものである。(C委員)

<上記提言に係る担当課の対処方針>

地下空洞型処分施設機能確認試験における、コンクリート構造物などの人工材料の長期影響評価は、TRU廃棄物処分との共通の課題も含んでいることから、他の研究開発との連携・統合を図るなど効率的に取り組んでいく。

また、原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発については、低レベル放射性廃棄物を収納する金属容器に求められる技術要件とその設計・材料規格案を提示するとともに、本事業により得られた成果により、今後、廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成につながる取組を検討していく。

## 第4章 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

\* 今回の評価のみならず、過去の評価についても記載する。

### 4-1 複数課題プログラム

#### 評価ワーキンググループの所見【中間評価】

- ・
- ・

#### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

- ・
- ・

#### 評価ワーキンググループの所見【中間評価】[評価WG（第9回）]

- ・ 施策全体として、放射性廃棄物の処分に関する合意形成プロセスを確立していく必要がある。そのためには、社会的受容性を高める研究、教育、人材育成など幅広い課題があり、他の政府機関との連携を含めて、政府全体で適切な体制をとって検討できるよう進めていくべきである。
- ・ 震災を踏まえた大きな変更点として、地層処分に可逆性の視点が導入された点が挙げられる。これまで、超長期の放射性廃棄物処分の安全性評価のシミュレーションについてはその手法自体が課題であったが、今後は現実に実施可能な方法により安全性評価を行うことも技術的選択肢となる。このため、可逆性を担保する技術開発の設計見直しについて、安全保障上の管理体制の整備的な視点も含めて、最終処分計画の見直しを経て本施策の技術開発事業に適切に反映させていくことが必要である。

#### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】[評価WG（第9回）]

- ・ 地層処分の社会的受容性を高めるために、現在実施している放射性廃棄物WGなどの議論も踏まえ、広報・広聴活動についても見直し等を行っているところであり、今後の科学的観点からの有望地選定などの状況を踏まえつつ、人材育成の観点も含め個別研究開発事業でこれをサポートできるような取り組みを行っていく。合わせて関係閣僚会議なども活用し、関係省庁が連携して放射性廃棄物処分の問題に取り組む。
- ・ 東北地方太平洋沖地震後の情勢変化への対応と同様、個別研究開発事業の内容は十分にフレキシブルであることから、放射性廃棄物WGでの議論、規制サイドの検討を踏まえつつ、今後、可逆性・回収可能性に関連する技術開発を適切な事業の中で実施していく。

#### 4-2 研究開発課題（プロジェクト）

##### 4-2-1. 地層処分技術調査

###### 評価ワーキンググループの所見【中間評価】

- ・
- ・

###### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

- ・
- ・

###### 評価ワーキンググループの所見【前回の中間評価（第9回評価WG）】

- ・ 震災を踏まえた大きな変更点として、地層処分に可逆性の視点が導入された点が挙げられる。これまで、超長期の放射性廃棄物処分の安全性評価のシミュレーションについてはその手法自体が課題であったが、今後は現実に実施可能な方法により安全性評価を行うことも技術的選択肢となる。このため、可逆性を担保する技術開発の設計見直しについて、安全保障上の管理体制の整備的な視点も含めて、最終処分計画の見直しを経て本施策の技術開発事業に適切に反映させていくことが必要である。

###### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【前回の中間評価（第9回評価WG）】

- ・ 東北地方太平洋沖地震後の情勢変化への対応と同様、個別研究開発事業の内容は十分にフレキシブルであることから、放射性廃棄物WGでの議論、今後の最終処分計画の見直しや安全保障上の管理体制の整備に関連する規制側の動向なども踏まえつつ、可逆性・回収可能性に関連する技術開発を適切な事業の中で実施していく。また、超長期の安全評価手法についても、これまで同様研究開発をすすめる、信頼性向上をはかっていく。

##### 4-2-2. 放射性廃棄物共通技術調査

###### 評価ワーキンググループの所見【中間評価】

- ・
- ・

###### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

- ・
- ・

###### 評価ワーキンググループの所見【前回の中間評価（第9回評価WG）】

- ・ 関連機関等との連携をとりながら情報の提供を積極的に行い、本事業による成果をより一層活用していくべきである。

###### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【前回の中間評価（第9回評価WG）】

- ・ 本事業の成果や今後の計画については、地層処分基盤研究開発調整会議にて作成している5ヵ年の全体計画や研究開発マップなどを、関連省庁（文科省、規制庁）や基盤研究開発機関以外の民間事業者にも情報提供の一環として送付している。また、これらの計画を含め、



各年度の事業報告書は、廃対室ホームページ上で広く一般に公開している。これらを踏まえ、研究成果の具体的な活用方策などについて今後関係省庁と協議を行っていく。

#### 4-2-3. 管理型処分技術調査

##### 評価ワーキンググループの所見【中間評価】

- ・
- ・

##### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

- ・
- ・

##### 評価ワーキンググループの所見【前回の中間評価（第9回評価WG）】

- ・ 管理型処分における持続的な管理の課題について、技術的な側面に加えて、制度、事業者による事業の継続体制なども含めて取組を進めることが必要である。

##### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【前回の中間評価（第9回評価WG）】

- ・ 管理型処分における持続的な管理の課題については、制度面については規制庁の動向を考慮しつつ、研究開発事業として今度重要となる長期モニタリング技術に関連する研究開発を進めていく。開発した技術の実用化の見通しが概ね得られた段階で事業者による事業の継続についても検討していく。